ISSN 1405-0471

Madera y Bosques



VERANO 2012 18(2)
Xalapa, Ver.

MADERA y BOSQUES
Vol. 18 Núm. 2 Verano de 2012

Madera y Bosques, es una publicación del Instituto de Ecología, A.C., que edita la Red de Ambiente y Sustentabilidad. Los trabajos que publica tratan los temas de tecnología de productos forestales y del campo forestal en general, con énfasis en ecología forestal y manejo forestal. Se aceptan trabajos en español, inglés y ocasionalmente en otros idiomas. Su objetivo principal es constituirse en un medio de difusión de la investigación científica. Asimismo, publica contribuciones técnicas y estados del arte que incidan en el medio nacional e internacional. Es una publicación cuatrimestral que aparece en primavera, en verano y en otoño.

Madera y Bosques, Vol. 18 Núm. 2 de 2012. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2005-062018152600-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 12906. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 10479. Domicilio de publicación: Carretera Antigua a Coatepec núm. 351. El Haya. 91070 Xalapa, Ver., México. Imprenta: Cromoeditores S.A. de C.V., Miravalles 703. Col. Portales 03300 México, D.F.
La suscripción anual para 2012 es de $450.00+$225.00 para gastos de envío al interior de la República y $50.00 USD al extranjero (no incluye gastos de envío). Precio por ejemplares sueltos $200.00 y $20.00 USD, respectivamente. Incluye costos de envío por correo aéreo. Suscripciones en México en International Magazine Subscriptions, Tenochtitlan núm. 26 L10 M7, Ampl. Tlacuitlapa, 01650 México, D.F. México, Tel/Fax (55) 5643-2939, ce:mmaximomx@yahoo.com.mx. Donaciones e intercambios, en el Instituto de Ecología, A.C., al c.e:libros@inecol.edu.mx. La reproducción total o parcial de los artículos podrá hacerse con el permiso expreso de los editores. Esta revista forma parte de los índices y portales de difusión ISI Web of Science (Science Citation Index Expanded), Journal of Citation Records (JCR), Revistas Mexicanas de Investigación en Ciencia y Tecnología (IRMICyT) del CONACYT, Redalyc, Dialnet, Periódica, Índice Iberoamericano de Información en Ciencia y Tecnología, SCOPUS, Actualidad Iberoamericana, CAB Forest Products Abstracts, Latindex y Seriunam.

MADERA Y BOSQUES

Vol.18 Núm. 2 Verano de 2012

CONTENIDO



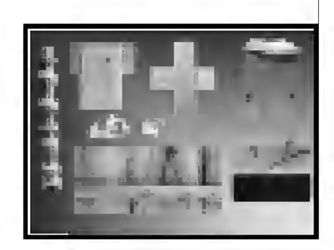
Nuestra portada: Productos elaborados con madera de *Trema micrantha*.

Autor: Alejandra Quintanar Isaías.

MADERA Y BOSQUES

Vol.18 Num. 2 Summer 2012

TABLE OF CONTENTS



Our cover: Products made with wood of *Trema micrantha*.

Author: Alejandra Quintanar Isaías.

EDITORIAL

El país acaba de pasar por un nuevo período electoral no exento de controversias, como ha sido la norma en los últimos años. Las elecciones tienden a ser bastante competitivas y los participantes no siempre aceptan de buen grado los resultados. Como quiera que sea, existe ya un presidente electo y un nuevo Congreso de la Unión con una composición distinta al que recién concluyó sus actividades. Un tema del mayor interés para los comprometidos en la ciencia y tecnología (CyT) en este país (que deberíamos ser todos), se refiere al presupuesto destinado para estos fines. México generalmente ha ido a la zaga de los países más desarrollados en lo que se refiere a inversión en este rubro, tanto del sector público como del privado. El presidente electo ha afirmado públicamente que tiene la intención de destinar mayores recursos a este tema, un 0.1% del PIB de incremento anual. Estas son buenas noticias para el sector, y también para el país en su conjunto, considerando que en los últimos años México ha destinado 0.38% de su PIB a inversión en este ámbito. La propuesta del presidente electo representa un incremento de aproximadamente 25% de los recursos apropiados para gastos de CyT, incluyendo temas de Innovación y Desarrollo Tecnológico (IDT). Este no es un esfuerzo menor y deberá tener un impacto casi inmediato en el número de proyectos de investigación que se emprendan en el futuro inmediato, así como en el apoyo a las entidades e instituciones públicas y privadas que se ocupan de estos menesteres.

El presidente electo tuvo cuidado en señalar que este gasto todavía será financiado mayoritariamente con fondos públicos y que la inversión privada en la materia será menor como hasta ahora. Este es todavía un reto pendiente de solución para que el país pueda aspirar a incrementar sus niveles de desarrollo, pues el Gobierno Federal no podrá mantener siempre todo el peso del gasto en CyT e IDT. Para lograr una mejoría en este contexto se deberá ir dando un cambio gradual de mentalidad en el sector empresarial mexicano para que vean como benéfico para sus empresas invertir en estos rubros. Cuando toda la sociedad valore en la medida que se merecen estas actividades, el país tendrá mayores y mejores expectativas de ocupar un lugar destacado en el concierto internacional y a partir de ese desarrollo, podrá brindar a sus habitantes mejores expectativas de vida y bienestar. Los pasos señalados por el gobierno entrante apuntan en esa dirección. Esperemos que los resultados que se vayan registrando sean positivos y contribuyan a crear un mejor país para todos sus habitantes.

En este número incluimos cuatro trabajos del mayor interés tecnológico y científico. El primero se refiere al tema de la productividad del aserrado de una especie tropical en un ejido del sureste mexicano. En este estudio se determinó el rendimiento al relacionar el volumen de madera en rollo y el volumen de madera aserrada de 815 trozas. Se determinaron tiempos de asierre, empleando el método del tiempo total en la sierra principal. Se midieron las dimensiones de las trozas, y a partir de ellas, se calculó el volumen total rollo fuste sin corteza (rfsc), así como los volúmenes aserrados que generaron al procesarse. Los resultados indican que para producir un metro cúbico de madera aserrada, se requieren 2,45 m^3 rfsc de madera de machiche. El coeficiente de aserrío real global fue 41,3%; el coeficiente por clases de tablas fue 43,1% en tablas de albura, 34,1% en tablas de duramen y 22,8 % en tablas de rechazo. El tiempo trabajado productivo fue de 68%, el tiempo trabajado no productivo fue de 19% y el tiempo no trabajado justificado fue de 13%. La productividad se ubicó en 0,57 m^3/hora. Los indicadores de productividad determinados proveen información útil para la administración eficiente del aserradero ejidal.

El siguiente trabajo aporta datos relevantes de la contribución de la industria forestal al desarrollo económico de la región del BioBío en Chile. El objetivo de ese estudio fue evaluar los efectos que tendría un shock exógeno de demanda para cada subsector forestal (silvicultura, madera, celulosa y papel, y muebles) sobre la actividad económica, remuneraciones, ingreso y medioambiente en esa región. Para ello se utilizó una Matriz de Contabilidad Social Extendida Ambientalmente para BioBío con año base 2006 que permitió simular impactos de variaciones en la demanda final con un modelo económico intersectorial. Los resultados permiten concluir que cada subsector forestal genera diferentes contribuciones al desarrollo económico de la región del BioBío. Específicamente, la industria de la madera presenta la más alta participación en el PIB y es el mayor demandante de insumos de otros sectores por su alto encadenamiento hacia atrás; la silvicultura es un sector estratégico, la industria de la celulosa genera mayores efectos en las remuneraciones y altas emisiones contaminantes y la fabricación de muebles genera las menores emisiones contaminantes.

El siguiente trabajo trata de la estructura del arbolado y caracterización dasométrica de una parte del parque más importante de la Ciudad de México conocida como "la segunda sección del Bosque de Chapultepec". El Bosque de Chapultepec es el área verde urbana (AVU) de mayor extensión y con más visitantes de la Ciudad de México, razón por la cual su protección y conservación tiene gran relevancia por los servicios ambientales y beneficios antropocéntricos que genera. En este estudio se determinaron las características dendrométricas y dasométricas del arbolado, con base en la información registrada durante el inventario total de sus árboles, complementada con la obtenida en 111 sitios de muestreo. Se determinó la densidad promedio de árboles, el valor promedio de cobertura de copa por árbol y la cubierta del dosel. También se midió el área basal por árbol y el área porcentual que ocupan los fustes. Los datos de este trabajo servirán como un indicador básico para la 2ª sección y una referencia para futuros trabajos de investigación y caracterización de masas arboladas urbanas, lo cual es fundamental para sustentar el manejo que requiere el bosque urbano de la Ciudad de México y de otras áreas del continente.

El último artículo de este número es una investigación de la madera de Trema micrantha *(L.) Blume de Veracruz, México. Se estudió la anatomía microscópica, los índices hidráulicos y mecánicos de la madera de 28 árboles de esta especie de cuatro localidades ubicadas en dos municipios del estado de Veracruz. Se determinaron también las características macroscópicas, la densidad relativa, el contenido de humeda, y algunas pruebas de carpintería en probetas de diferentes tamaños de la madera de tres árboles, con el fin de proponer usos alternativos en zonas rurales. Los resultados mostraron que* T. micrantha *presenta un xilema mesomórfico, poco resistente a la cavitación, de baja densidad relativa, con valores bajos de índices de colapso de vaso y fibras y altos para el índice de vulnerabilidad. Los análisis de varianza confirman que de todas las características estudiadas solamente el índice de colapso de los vasos es similar entre individuos y poblaciones. Las comparaciones múltiples arrojan que los caracteres que separan a unas localidades de las otras son el grosor de la pared y el número de radios. Las pruebas tecnológicas describen una madera que no se raja al clavado, responde bien al ensamblado y al torneado por lo que se recomienda para su uso en la carpintería rural.*

Raymundo Dávalos Sotelo
Editor

EDITORIAL

The country has just passed by a new electoral period not free from controversy, as it has been usual in recent years. Elections tend to be quite competitive and the participants do not always willingly accept the results. Anyhow, there is already an elected President and a new Congress with a different composition to that which recently concluded its activities. A subject of the greatest interest for those interested in science and technology (S & T) in this country (which should be all of us), refers to the budget allocated for these purposes. Mexico has generally been lagging behind the more developed countries in what refers to investment in this field, both in the public sector and the private. The President-elect has publicly stated that he intends to allocate more resources to this issue, a 0.1% annual increase in terms of the GDP. This is good news for the sector, and also for the country as a whole, inasmuch as in recent years Mexico has designated the 0.38% of its GDP to investment in this field. The elected President's proposal represents an increase of approximately 25% of the resources for expenditure on Science and Technology, including topics of Innovation and Technological Development (ITD).This is not a minor effort and it should have an almost immediate impact on the number of research projects to be undertaken in the immediate future, as well as in the support to public and private institutions dealing with these matters.

The President-elect was careful to point out that this expenditure will be still financed mostly with public funds and private investment in this area will be low as it is today. This is a challenge that remains to be solved so that the country can aspire to increase its level of development, because the Federal Government may not always maintain the brunt of spending in S & T and ITD. To achieve an improvement in this context, there must be a gradual change of mentality in the Mexican business sector so that they see as beneficial to their companies to invest in these areas. When all society values these activities, as they deserve, the country will have greater and higher expectations to occupy a better place in the international arena and from this development, it can aspire to achieve people´s expectations of life and well-being. The steps outlined by the incoming Government are pointing in that direction. We hope that the results are positive and contribute to creating a better country for all its inhabitants.

In this issue we include four works of the greatest scientific and technological interest. The first is about yields and sawing time determined in order to know the sawmilling productivity of a tropical species in an ejido (community of collective ownership of the land) in the south-east of México. The yields were determined by relating the volume of logs and sawn timber volume of 815 logs. Milling times were determined using the total time method in the main saw. The dimensions of the logs were recorded and from them, the total volume processed was calculated and denominated as round wood without-bark volume (rwwb). The volume of sawn lumber produced was also recorded. The results indicates that to produce one cubic meter of lumber, 2,45 m^3 of machiche are required. The actual global sawmill coefficient was 41,3%, the coefficient for grades of boards was 43,1% in boards of sapwood, 34,1% in boards of heartwood, and 22,8% in boards with rejection grade. The productive time was 68%, the non-productive time 19%, and the leisure time 13%. The productivity was at 0,57 m^3/ hour. The productivity indicators identified, provide useful information for the efficient administration for sawmill of the ejido.

The second paper is about the forest industry contribution to economic development of the BioBio region in Chile. The aim of the study was to evaluate the effects that would have an exogenous demand shock of forestry sub-sectors (silviculture, timber, pulp and paper, and furniture) on the economic activity, wages, incomes and the environment of region studied. For this purpose, an Environmental Extended Social Accounting Matrix for Biobío with base year 2006 was used, which allowed simulating impacts of changes in the final demand with a sectorial economic model. The results show that each forestry sub-sector generates different contributions to the economic development of the Biobío region, specifically the timber industry has the highest share of GDP and is the greatest consumer of inputs from other sectors for their high backward linkage, silviculture is a strategic sector for its raw material supply, the pulp industry generates greater impact on wages and high pollutant emissions, and furniture manufacturing generates lower pollutant emissions.

A third article describes a dasometric characterization and structure of tree stands at Chapultepec Forest´s second section. Chapultepec Forest is the largest and most visited urban green area (UGA) of Mexico City and for these reasons, the protection and conservation of this place is a relevant issue to maintain the generation of the environmental services and benefits that it provides. Despite the importance of this area, there is a lack of information about the horizontal structure and indicators of the tree stands located in this place, as well as for the rest of the UGA of the city and the country, although some floristic or sanitary conditions studies had been done in some of them. The aim of this paper was to determine the dendrological and dasometric characteristics of the stands at the 2nd section of Chapultepec Forest, according with the information obtained from a total tree inventory, complemented with 111 sampling sites of 500 m^2*. The estimated mean of trees per site was 295/ha, the mean crown cover value was 27,19* m^2 *and the canopy cover in the area exceeds 80% of the total surface. The mean basal area was 0,10* m^2 *and the stems occupied 0,32% of the total surface. This data will provide basic indicators for the 2nd section tree stands and a reference for future research projects and characterization of UGA in the city. In addition, the information is basic to sustain the management that requires the urban forest of Mexico City, and it can serve as an example of the type of studies required for other areas in the continent.*

The last piece of research included in this number is about the wood of Trema micrantha *(L.) Blume from Veracruz, México. The microscopic anatomy, hydraulic and mechanical indices of the wood of 28 trees of the species Trema micrantha of four localities in the municipalities of Xico and Coatepec in Veracruz State, Mexico were studied. In addition, macroscopic characteristics such as relative density and moisture content were determined. Results showed that* T. micrantha *has a mesomorphic xylem characterized by low resistance to cavitation, low values of relative density, low indices for vessel and fiber collapse and a high index of vulnerability. An analysis of variance shows that, of all the characteristics studied, only the rate of collapse of the vessels is similar between individuals and populations. Multiple comparison tests show that wall thickness and the number of rays separate populations Bola de Oro and Barrales from the other sites of study. Carpentry tests reveal that wood from T. micrantha is resistant to splitting when nailed, is well suited to assemblage, and thus, it is recommended for use in carpentry in rural areas.*

Raymundo Dávalos Sotelo
Editor

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Productividad del aserrado de machiche (*Lonchocarpus castilloi* Standl), en Tres Garantías, Quintana Roo, México

Productivity of sawing the machiche wood (*Lonchocarpus castilloi* Standl), in Tres Garantías, Quintana Roo, Mexico

Alejandra Acosta-Ramos[1] y Joel Martínez-López[1]

RESUMEN

Se determinaron rendimientos y tiempos de aserrado, con el propósito de conocer la productividad del aserrío de *Lonchocarpus castilloi* Standl. (machiche). El rendimiento se determinó al relacionar el volumen de madera en rollo y el volumen de madera aserrada de 815 trozas. Se determinaron tiempos de asierre, empleando el *método del tiempo total* en la sierra principal. En 80% de las trozas se registraron diámetros de 30 cm a 40 cm y en 94%, longitudes de 2 m a 3 m. El volumen total fue de 194,6 m^3 rollo fuste sin corteza (rfsc), que al procesarse generaron un volumen de 80,8 m^3 aserrados. Esto indica que para producir un metro cúbico de madera aserrada se requieren 2,45 m^3 rfsc de machiche. El coeficiente de aserrío real global fue 41,3%; el coeficiente por clases de tablas fue 43,1% en tablas de albura, 34,1% en tablas de duramen y 22,8 % en tablas de rechazo. El tiempo trabajado productivo fue de 68%, el tiempo trabajado no productivo fue de 19% y el tiempo no trabajado justificado fue de 13%. La productividad se ubicó en 0,57 m^3/hora. Los indicadores de productividad determinados proveen información útil para la administración eficiente del aserradero ejidal.

PALABRAS CLAVE:
Coeficiente de rendimiento, maderas duras tropicales, proceso de aserrado, tiempos de aserrado.

ABSTRACT

Yields and sawing time were determined in order to know the sawmilling productivity of *Lonchocarpus castilloi* Standl. (machiche). The yields were determined by relating the volume of logs and sawn timber volume of 815 logs. Milling times were determined using the *total time method* in the main saw. Eighty percent of logs recorded diameters from 30 cm to 40 cm, and 94% of them had lengths from 2 m to 3 m. The total volume processed was 194,6 m^3 round wood without-bark (rwwb), that generated a volume of 80,8 m^3 of sawn lumber. This indicates that to produce one cubic meter of lumber, 2,45 m^3 of machiche are required. The actual global sawmill coefficient was 41,3%, the coefficient for grades of boards was 43,1% in boards of sapwood, 34,1% in boards of heartwood, and 22,8% in boards with rejection grade. The productive time was 68%, the non-productive time 19%, and the leisure time 13%. The productivity was at 0,57 m^3/ hour. The productivity indicators identified, provide useful information for the efficient administration for sawmill of the *ejido*.

KEY WORDS:
Yield coefficients, tropical hardwoods, sawing process, sawing times.

1 Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez; Av. Universidad s/n. C. P. 68725, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. C.e.: forest@juppa.unsij.edu.mx

INTRODUCCIÓN

La industria del aserrío es considerada la segunda más importante dentro del sector forestal en México, tanto por el volumen que procesa como por el número de plantas que existen. Se caracteriza por ser poco intensiva en capital y con instalaciones de baja productividad (Flores-Velázquez *et al*., 2007; Fuentes-López *et al*., 2006). En las regiones de bosque tropical se encuentra un menor número de plantas industriales, aunado a un mayor rezago industrial. Esto por lo general se refleja en mayores dificultades en el aprovechamiento e industrialización de especies tropicales (Flores-Velázquez *et al*., 2007).

No obstante, a nivel nacional Quintana Roo es el segundo estado productor de maderas tropicales duras aserradas, superado sólo por Campeche. Las principales maderas duras comercializadas son *Metopium brownei* (Jacq.) Urban, *Lonchocarpus castilloi* (Standl), *Lisiloma bahamensis* (Benth) y *Caesalpinia platiloba* (L). En menor cantidad se procesan, *Bucida buceras* (L), *Swarzia cubensis* (Britt. & Wilson) Standl. y *Sickingia salvadorensis* (Standl.) Steyerm (Forster *et al*., 2002).

Ante el rezago industrial en regiones tropicales es prioritario que la industria considere elementos básicos para lograr la eficiencia de transformación de los recursos maderables. Diversos autores, como Biasi y Rocha (2006), señalan que toda industria maderera que no se ocupe en mejorar sus rendimientos, asume el riesgo de perder competitividad y paralizar sus actividades. Estudios como la determinación del coeficiente de rendimiento y la determinación de tiempos y movimientos, son indicadores básicos para evaluar la eficiencia en aserraderos (Zavala y Hernández, 2000; Quirós *et al.*, 2005; Nájera-Luna *et al*., 2011).

La eficiencia del aserrado se calcula a partir de un cociente entre la estimación del volumen de trozas que ingresan y el producto bruto de la madera aserrada que egresa. Este porcentaje se utiliza para la planificación y análisis económico de una empresa (Martínez-Pastur *et al*., 2002; Aguilera *et al*., 2005; Quirós *et al*., 2005; Valerio *et al*., 2007). Los tiempos y movimientos son una técnica de medición del trabajo empleado para registrar los tiempos y ritmos de trabajo de una tarea definida (OIT, citado por Ramírez, 1995). Conocer cómo se utiliza el tiempo, permite mejorar las condiciones de trabajo, optimizar los costos de operación y facilitar el control de la producción durante la ejecución (Chávez y Guillen, 1997).

Diversos estudios se han enfocado en el análisis del rendimiento y la productividad en especies de bosque templado, especialmente para coníferas y encinos (Juacida y Saldivar, 2000; Meneses y Guzmán, 2000; Zavala y Hernández, 2000; García *et al*., 2001; Zavala, 2003; Murara *et al*., 2005; Nájera *et al*., 2006; Velázquez *et al*., 2006; Valerio *et al*., 2007; García *et al*., 2009; Estévez *et al*., 2010 y Nájera-Luna *et al*., 2011). Para maderas tropicales se han realizado estudios enfocados al análisis del proceso de asierre y a la determinación de rendimientos (Moya y Córdoba, 1995; Guillén y Chávez, 1996; García y Moya, 1998; Quirós *et al*., 2005; Biasi y Rocha, 2006; Rueda-Sánchez *et al*., 2007 y Valera y Salvador, 2009). Las publicaciones de estudios de tiempos y movimientos del aserrado son escasas para este grupo de especies.

OBJETIVOS

Aportar información sobre la productividad del aserrío de maderas duras tropicales en Quintana Roo, por medio de un estudio del coeficiente de rendimiento y

de un estudio de tiempos del proceso de aserrado de machiche (*Lonchocarpus castilloi* Standl.).

METODOLOGÍA

El presente trabajo se llevó a cabo en el ejido Tres Garantías, el cual se encuentra al sur del estado de Quintana Roo, México y pertenece al municipio de Othón Pompeyo Blanco; se ubica geográficamente entre los paralelos 18° y 19° 16´00´´ de latitud Norte y los meridianos 88° 52´00´´ y 89° 09´50´´ de longitud Oeste del meridiano de Greenwich. En este estudio se utilizó la cantidad total de trozas de *Lonchocarpus castilloi* Standl correspondientes al volumen anual cosechado de la especie. Es pertinente mencionar que la exposición de los fustes por un año en el patio del aserradero generó su deterioro por el contacto directo con el suelo, así como grietas en las caras y a lo largo de los fustes. El saneo y seccionado de los fustes se realizó como tratamiento previo al aserrado, para eliminar zonas dañadas procurando trozas rectas. Para determinar la longitud de las trozas y la longitud y anchura de las tablas se utilizó un flexómetro; se empleó forcípula y flexómetro para determinar el diámetro de las trozas y realizar anotaciones en las tablas.

Se utilizó un aserradero mecánico, con motor estacionario a diesel de 160 caballos de fuerza, con torre cinta con volantes de 127,4 cm (52 pulgadas) de diámetro y cinta de 20,3 mm (8 pulgadas) de ancho, para el aserrado de trozas; una sierra desorilladora con dos discos de 101,6 (40 pulgadas) de diámetro, para sanear y dimensionar en ancho las tablas; un péndulo con sierra circular de 70 cm (24 pulgadas) de diámetro, para dimensionar en longitud las tablas; y un cabrestante (*winch*) eléctrico para el arrime de trozas. El aserradero con capacidad instalada de 18,88 m³ (8000 pies tabla) por turno en jornadas de 8 horas, procesa trozas de maderas blandas de 6 m de longitud y maderas duras hasta de 5 m de longitud. A la maquinaria y equipo se le realizaron adecuaciones para el aserrío de maderas duras y blandas; así también, previo al inicio del aserrado se realizó mantenimiento preventivo. Para el aserrío de maderas duras se emplearon dos sierras con revestimiento de estelita, de calibre 16, con paso de diente de 3,81 cm (1 ½ pulgadas), una de reciente adquisición y la otra de uso.

Cubicación de trozas. A cada troza numerada se le midieron los diámetros mayor y menor con corteza, así como su longitud. El volumen individual se obtuvo empleando la fórmula de Smalian, que corresponde a la siguiente expresión (Romahn *et al.,* 1994).

$$V = \frac{S_0 + S_1}{2} * L \qquad (1)$$

donde:

V : volumen (m^3)
L : longitud (m)
S_0 : área de la sección menor de la troza (m^2)
S_1 : área de la sección mayor de la troza (m^2)

Para el aserrío de la trocería se empleó el sistema de aserrado mixto, que es el método más común y tradicional practicado en la región. Con los datos registrados de la trocería se elaboró una base de datos para su procesamiento.

Cubicación y clasificación de madera aserrada. A cada producto aserrado se le midieron sus dimensiones considerando el refuerzo, el cual es una tolerancia en

los espesores y longitudes trabajadas por efecto del secado y el cepillado. Se empleó el flexómetro para evitar la sobrestimación o subestimación del volumen a que se incurre con el uso de la regla de cubicación. El volumen de la madera aserrada se determinó por medio de la siguiente expresión (Moya y Córdoba, 1995):

$$V_{pt} = \frac{G * A * L}{12} \quad (2)$$

donde:

Vpt : volumen de la tabla (pies tabla)
G : grueso (pulgadas)
A : ancho (pulgadas)
L : largo (pies)

Los resultados de la cubicación se anotaron en formatos de registro denominados convencionalmente en los aserraderos tálises de producción, que llevan la cuenta de las dimensiones de los productos por día. Los productos aserrados se clasificaron con atención a dos criterios. El primero atendió a la longitud de las tablas; clasificando a las de longitud igual o menor a 1,52 m (5 pies) como tablas de cortas dimensiones y a las de longitud igual o mayor a 1,83 m (6 pies) como tablas de largas dimensiones. El segundo criterio de clasificación atendió a la calidad de las tablas, considerando la presencia de albura y duramen. Por tradición, en el estado de Quintana Roo la madera aserrada de maderas duras se clasifica como lo indica la tabla 1.

La madera con contenido de duramen ha tenido mayor precio que la madera de albura. Debido a que en el contrato de venta se especificó un mayor precio para las tablas con contenido total de duramen, en este estudio se distinguieron los productos aserrados con contenido de albura y los productos aserrados con contenido de duramen. Por tanto, se clasificó en tablas largas de albura y duramen, tablas cortas de albura y duramen, tablas largas y cortas de rechazo. Los datos registrados en la producción de tablas se anotaron en el sistema inglés, para el procesamiento de la información, posteriormente los datos se transformaron a unidades del sistema internacional.

Determinación del coeficiente de aprovechamiento. Para obtener el nivel de transformación de la madera en rollo, se determinó el rendimiento en porcentaje, a través de la expresión utilizada por Ayerde (1993):

$$CA = \frac{VMA}{VMR} * 100 \quad (3)$$

donde:

CA: coeficiente de asierre
VMA: volumen de madera aserrada (m^3)
VMR: volumen de madera en rollo (m^3)

El coeficiente de aserrío real se estimó tomando en cuenta las dimensiones de las tablas a obtener: largas y cortas dimensiones, así como a los tipos de productos aserrados: tablas con albura, tablas con duramen y tablas tipo rechazo. La madera aserrada se estibó en una nave para secado al aire libre, donde se realizó un segundo conteo y cubicación para confirmar la información de los tálises de producción, ya que esta actividad se realizó tratando de no interferir en el proceso de producción. Aunque en el presente estudio no se planteó realizar la cuantificación de los subproductos del aserrío, su evaluación es importante porque son empleados como material para construcción rural, para elaborar

artesanías y porque generan energía (Valerio *et al.*, 2007). Se determinó el grado de asociación entre el volumen de madera en rollo y el volumen de madera aserrada, así como la asociación del volumen de madera en rollo y el número de piezas aserradas por día, por medio del coeficiente de correlación *r* con base en la siguiente expresión (Gutiérrez y De la Vara, 2008):

$$r_{XY} = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_{XX} S_{YY}}} \quad (4)$$

donde:

S_{XY}: covarianza
S_{XX}: varianza del volumen de madera en rollo
S_{YY}: varianza del volumen de madera aserrada

Determinación de tiempos de asierre. En atención a los requerimientos de la administración del aserradero se determinaron tiempos productivos e improductivos del aserrado de las 815 trozas de machiche en la sierra principal. Ante esta situación fue necesario emplear el método del tiempo total, tomando datos únicamente en la estación principal de aserrado. No obstante, Bennet (1972), menciona que el análisis de una operación específica ofrece información útil para operaciones similares y además puede ser de utilidad para detectar cambios necesarios o modificaciones en el asierre de trozas; por lo anterior, el estudio de tiempos se complementó con observaciones generales en las máquinas desorilladora y despuntadora.

Para organizar el registro y análisis de la información, se adaptó la metodología definida por Chávez y Guillén (1997), que clasifica los tiempos de acuerdo con: *a)* tiempo trabajado, que se subdivide en trabajo productivo (asierre) y trabajo no productivo (por ejemplo: cambio de sierra), y *b)* yiempo no trabajado, que se subdivide en tiempo justificado (por ejemplo, falla en el sistema de energía eléctrica) y tiempo no justificado (por ejemplo, distracciones). Durante el proceso de asierre de las 815 trozas se registraron los tiempos de espera de trocería, reparaciones, mantenimiento, distracciones y reuniones. Se determinó el tiempo total empleado, que es la suma de los dos tipos de tiempos definidos. Se determinaron los principales indicadores del rendimiento, entre ellos: horas de observación, porcentaje de los tipos de tiempos empleados, número y volumen de trozas aserradas, número de trabaja-

Tabla 1. Clasificación local de maderas duras y su equivalencia con la National Hardwood Association.

Tipo de calidad	*Equivalencia con la National Hardwood Association (NHLA)*	
Mill run Largas dimensiones	1	Común y mejor
Mill run Cortas dimensiones	3A	Común y mejor
Rechazo Largas dimensiones	2B	Común e inferior
Rechazo Cortas dimensiones	3A	Común e inferior

FUENTE: Registros de producción del ejido Tres Garantías, Quintana Roo.

dores, rendimiento en trozas por hora, m^3 aserrados por hora, m^3 aserrados por hora-hombre y productividad, calculada por medio de la ecuación 5 (García *et al.*, 2001).

$$P = \frac{VMA}{TP} \quad (5)$$

donde:

P: Productividad
VMA: Volumen de la madera aserrada (m^3)
TP: Tiempo de proceso (horas)

La información obtenida, tanto para la determinación del coeficiente de aserrío, como para la determinación del tiempo trabajado y el tiempo no trabajado, se organizó en hojas de cálculo para su procesamiento estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Naturaleza de la trocería. De acuerdo con las frecuencias absolutas de las categorías diamétricas de las 815 trozas que se muestran en la figura 1, se observa que la categoría diamétrica más frecuente fue la de 35 centímetros y la menos frecuente fue la de 60 centímetros. Las medidas de dispersión obtenidas para las categorías diamétricas fueron: desviación estándar de 6,09 centímetros, coeficiente de variación de 16,71%, error estándar de la media de 0,21 centímetros, coeficiente de curtosis de 0,29 y coeficiente de asimetría igual a 0,64. De acuerdo con lo anterior, los indicadores para este conjunto de datos son altamente confiables desde el punto de vista estadístico.

Las frecuencias absolutas de las categorías de longitud de las 815 trozas se muestran en la figura 2. La categoría en longitud mas frecuente correspondió a 2,0 m y la categoría en longitud menos frecuente fue de 1,5 m, mientras que el rango promedio se ubicó en la categoría de longitud de 3 m. Sus indicadores estadísticos fueron desviación estándar de 0,45 metros, coeficiente de variación de 18,46%, error estándar de la media de 0,02 metros, coeficiente de asimetría de 0,50 y coeficiente de curtosis de -0,14. La notable falta de estandarización en dimensiones de longitud, se debe a que

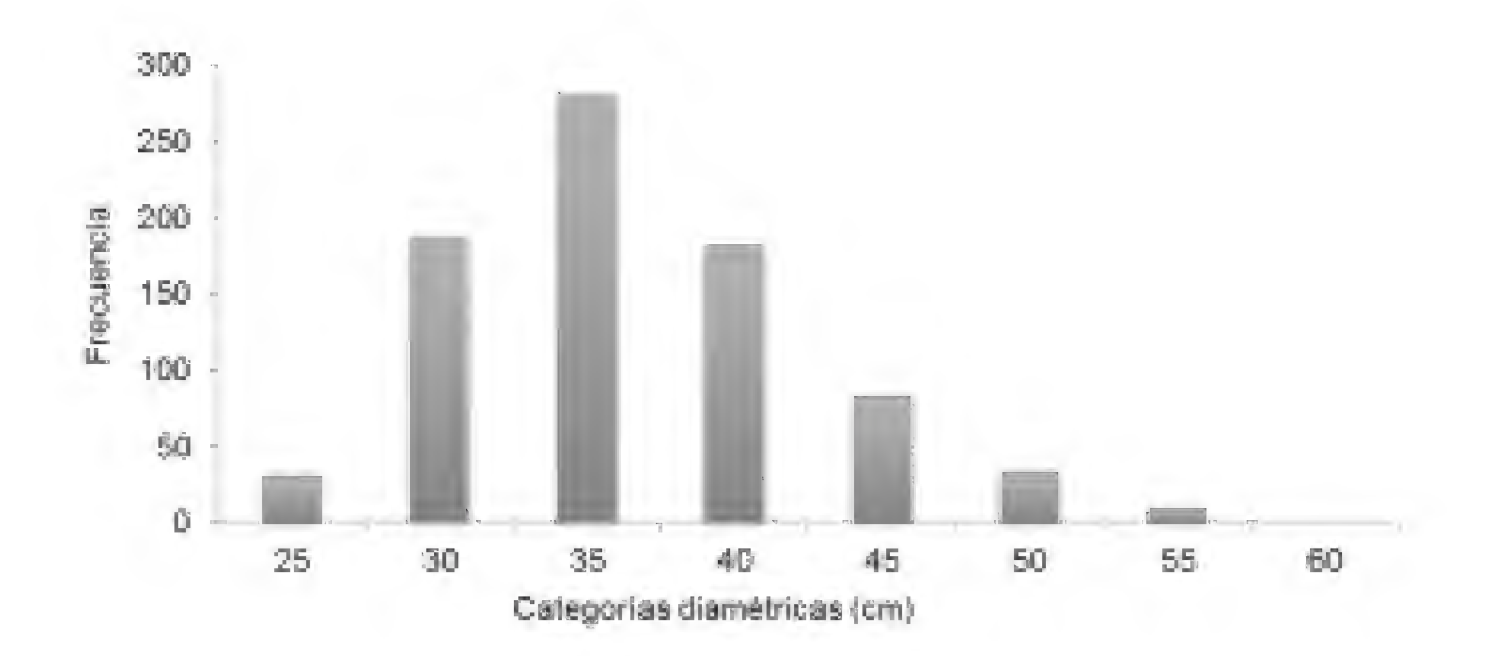


Figura 1. Frecuencia de categorías diamétricas de 815 trozas de *Lonchocarpus castilloi* Standl.

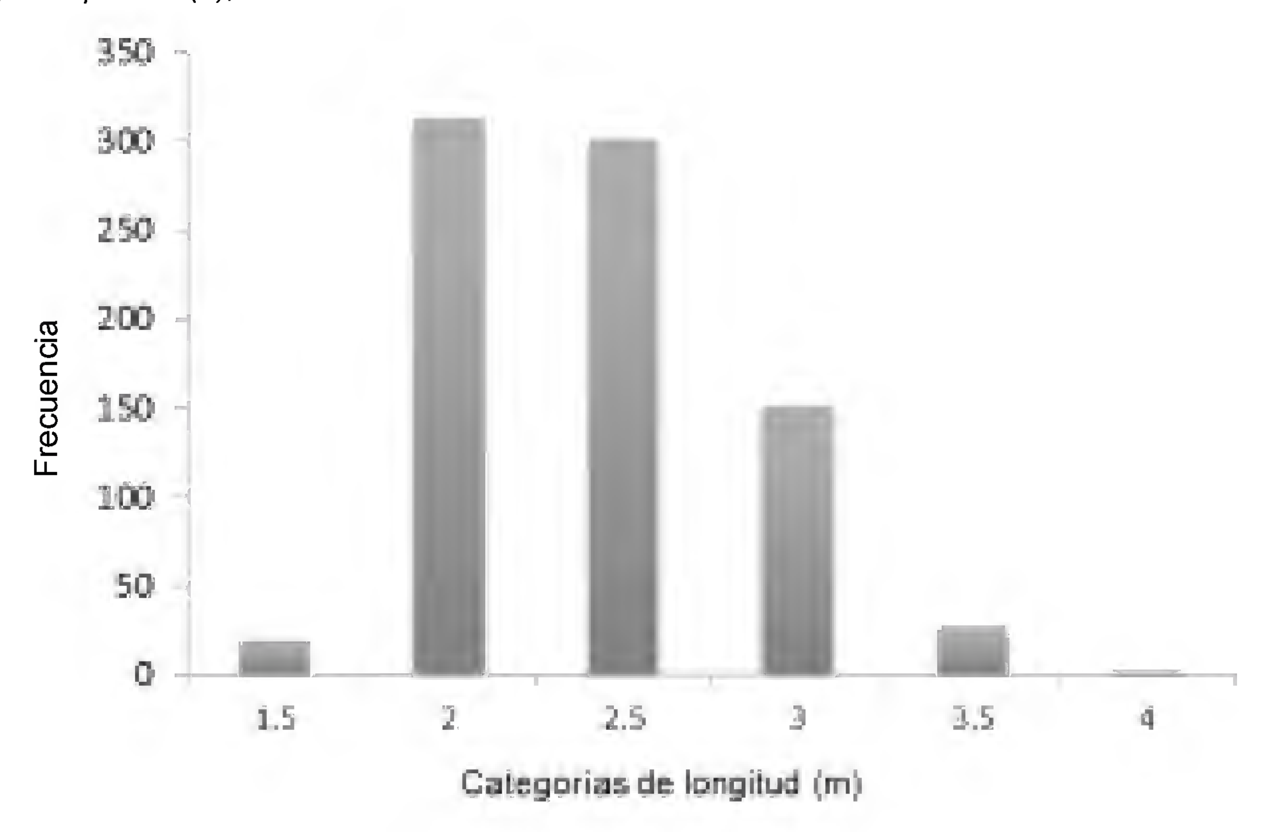


Figura 2. Frecuencia en categoría de longitudes de 815 trozas de *Lonchocarpus castilloi* Standl.

los fustes se dimensionan a diferentes longitudes para conseguir la mayor rectitud de la troza y eliminar presencia de defectos de sanidad como: pudrición, quemaduras, fuste hueco, entre otros, aunado a lo anterior madera aserrada de largas dimensiones tiene un mayor precio. Según la capacidad del aserradero y la especie, se procesan trozas de 1,10 m a 4,87 m. Por las características de los fustes de machiche, para evitar que exista una mayor proporción de madera no calibrada, se ha determinado a través de la experiencia que 4,06 m es la longitud máxima de la troza que puede desplazar el carro en condiciones normales de trabajo.

Ochenta por ciento de las trozas aserradas presentaron diámetros de 30 cm a 40 cm; y 94% presentaron longitudes de 2 m a 3 m. Los resultados de otros estudios, como el de Herrera (2008), quien también trabajó con *Lonchocarpus castilloi*, con diámetros de 40 cm a 70 cm y el de Valera y Salvador (2009), quienes trabajaron con *Iryanthera laevis* Margrak y *Simarouba amara* Aubl, con diámetros de 28,1 cm a 59,4 cm; son comparables con los valores dasométricos promedio de las 815 trozas en el presente trabajo. El diámetro promedio fue de 36,55 centímetros y la longitud promedio de 2,41 metros (Tabla 2).

El volumen sin corteza se determinó aplicando una disminución de 10% al volumen con corteza, de acuerdo con Reuter *et al.* (1998), quienes mencionan que cerca de 10% del volumen de maderas duras es representado por la corteza.

Procesamiento primario de la madera. La trocería se aserró empleando el sistema de corte mixto, que es de uso tradicional. El total de las trozas del estudio, sumaron un volumen de 194,62 m^3 rollo fuste sin corteza (rfsc), que al aserrarse se obtuvo un volumen 34252 pies tabla (pt). Este volumen, al ser trans-

Tabla 2. Número, volumen y dimensiones de las 815 trozas empleadas de *Lonchocarpus castilloi* Standl.

Cantidad de trozas	*Volumen m³ rollo c. c*	*Volumen m³ rollo s. c*	*Diámetro de trozas (cm)*			*Longitud de trozas (m)*		
			Mínimo	*Medio*	*Máximo*	*Mínima*	*Media*	*Máxima*
815	216,2	194,6	23	36	57	1,5	2,4	4,0

formado al Sistema Internacional de Unidades correspondió a 80,78 m³ de madera aserrada, resultantes de la cubicación de 19552 piezas de madera aserrada de largas y cortas dimensiones. Lo anterior indica que en este aserradero se requieren 2,45 m³ rfsc de *Lonchocarpus castilloi* Standl para producir un metro cúbico de madera aserrada. En la tabla 3 se presentan los valores extremos y medios de madera en rollo y productos aserrados.

Durante el tiempo de asierre de las 815 trozas (Fig. 3), se presentó un coeficiente de variación de 32,23%. Mientras que el coeficiente de variación en la producción diaria de los productos aserrados obtenidos fue de 35,65% (Fig. 4). Algunos autores mencionan que la variación en el asierre y en la producción refleja problemas operativos en la producción del aserradero. Fuentes-López *et al.* (2008) sugieren que altos coeficientes de variación y bajos volúmenes de producción de madera aserrada, se originan principalmente por la falta de una planeación e infraestructura tecnológica adecuada. Esta situación es común en la mayoría de los aserraderos pequeños y medianos de Quintana Roo.

En la tabla 4 se muestra el volumen de la madera aserrada y sus proporciones de acuerdo con sus dimensiones y calidad, mientras que en la figura 5 se representa la relación del volumen de tablas obtenido en la producción.

Las tablas con contenido de albura y de duramen, que representan 77% de la producción, tienen un precio de venta favorable. Mientras que las tablas tipo rechazo (23% de la producción), representan una carga para los costos de producción, debido a que este último tipo de madera es de calidad inferior y presenta poca demanda en el mercado, tanto local como externo. Los datos de la tabla 4 y de la figura 5, indican las posibilidades económicas y la rentabilidad potencial del asierre de madera de *Lonchocarpus castilloi* Standl, bajo las condiciones actuales del aserradero.

Tabla 3. Volúmenes mínimo, medio y máximo, de madera en trozo y aserrada de 815 trozas de *Lonchocarpus castilloi* Standl.

Volumen de madera en rollo (m³)			*Volumen de productos aserrados (m³)*		
Mínimo	*Medio*	*Máximo*	*Mínimo*	*Medio*	*Máximo*
3,802	10,2	13,5	1,5	4,2	6,1



Figura 3. Relación del asierre de *Lonchocarpus castilloi* Standl, durante los días de trabajo.

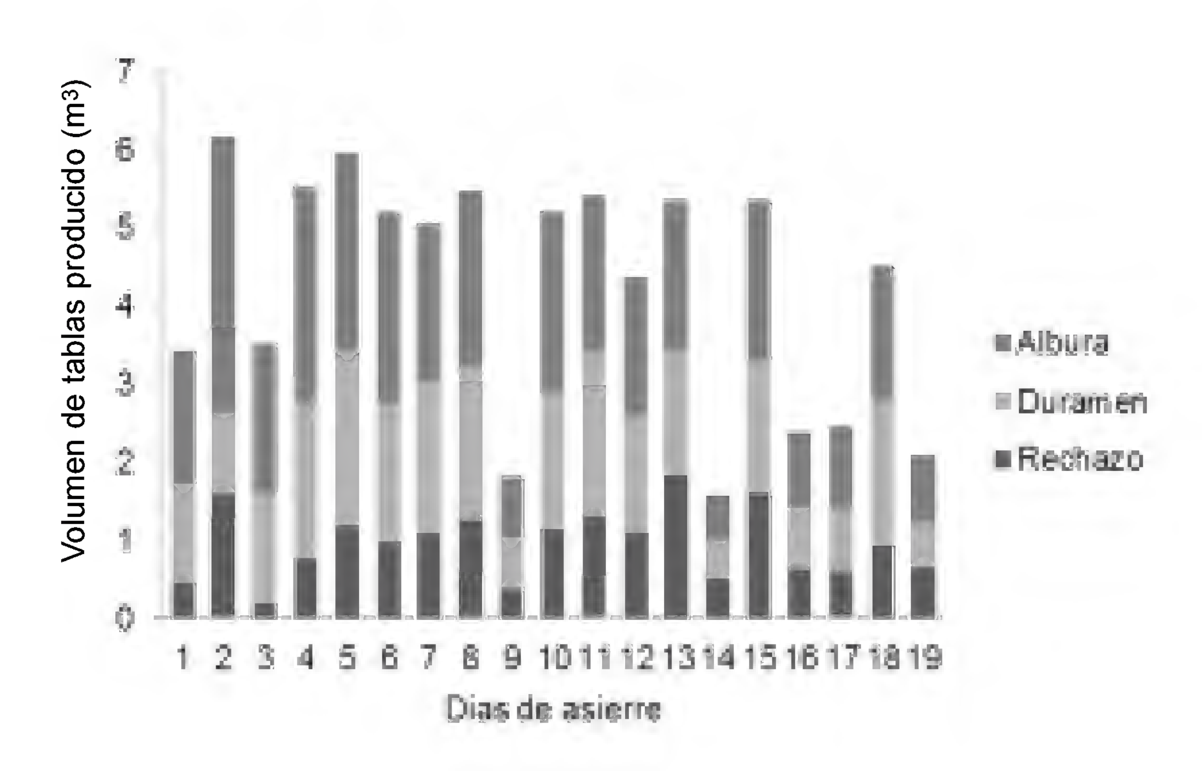


Figura 4. Relación de la producción de madera aserrada de *Lonchocarpus castilloi* Standl, por calidades durante los días de trabajo.

Tabla 4. Volumen de madera aserrada de *Lonchocarpus castilloi* Standl, por dimensiones y tipos de productos.

Dimensiones	*Volumen por tipos de productos aserrados (m3)*				*Proporción* (%)
	Albura	*Duramen*	*Rechazo*	*Total*	
Cortas dimensiones	16,7	16,41	4,6	34,6	42,8
Largas dimensiones	18,3	14,1	13,8	46,2	57,2
Total	35,0	27,5	18,3	80,8	100
Proporción (%)	43%	34%	23%	100%	

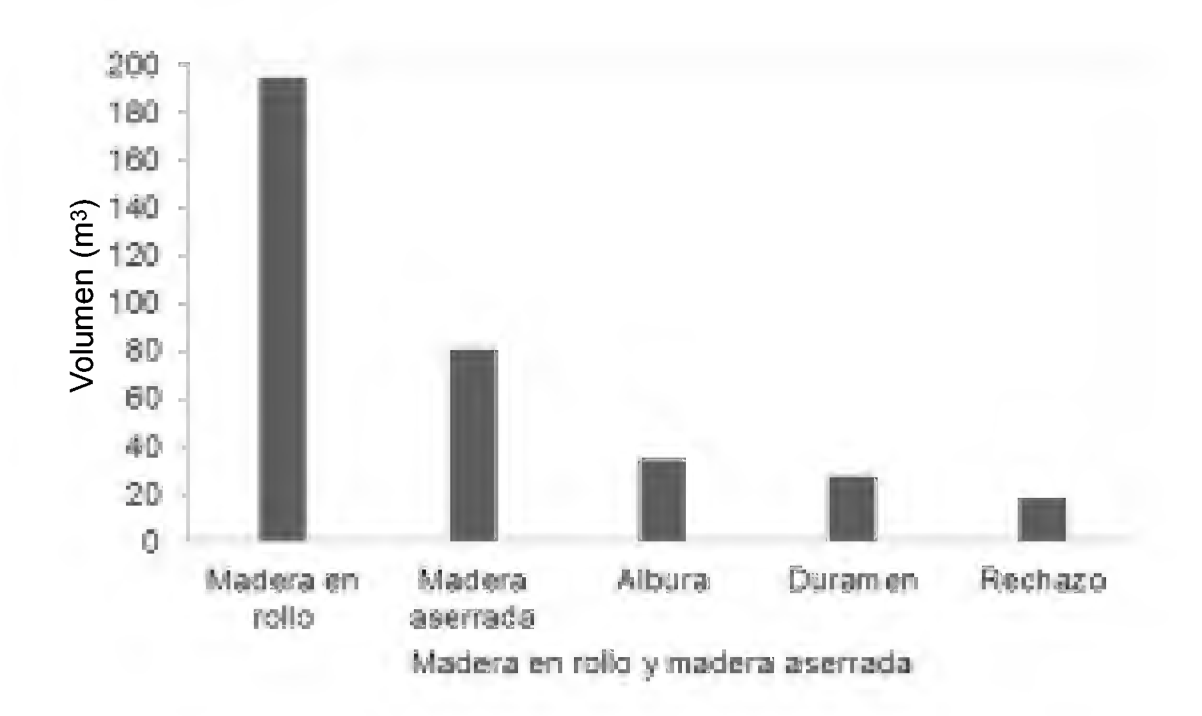


Figura 5. Relación del volumen de la madera aserrada de *Lonchocarpus castilloi* Standl, con respecto al volumen de la madera en rollo.

Al obtenerse una mayor proporción de madera de albura, es deseable diversificar sus productos. Adicional a la elaboración de duela y parquet, entre los usos recomendados por Bárcenas (1995) para *Lonchocarpus castilloi* Standl, se encuentran la elaboración de pilotes, productos tor-neados y para usos estructurales en exteriores.

Para la administración del aserradero, conocer el número de piezas obtenidas, de acuerdo con su calidad (Tabla 5), permite proyecciones concretas de los ingresos potenciales.

Aunque las proporciones y el número de tablas producidas se consideran aceptables debido a las condiciones prevalecientes en el aserrado de *Lonchocarpus castilloi* Standl; como lo recomiendan diversos autores, es deseable para maderas duras valuar el rendimiento de diversos sistemas de aserrado, con el fin de optimizar la eficiencia del aserradero y de la materia prima (Brown y Bethel, 1990; Zavala, 1994; Zavala, 2003 y Nájera *et al.,* 2006).

Coeficiente de aserrío (CA). El coeficiente de aserrío real de las 815 trozas de

Tabla 5. Productos obtenidos del aserrío de *Lonchocarpus castilloi* Standl, por tipo de calidad.

Productos obtenidos del aserrío	*Tipo de calidad de los productos del aserrío*					
	Albura		*Duramen*		*Rechazo*	
	Largas	*Cortas*	*Largas*	*Cortas*	*Largas*	*Cortas*
Tablas generadas	2602	1930	2593	5123	1930	2018
Volumen de las tablas (m^3)	18,29	16,68	14,11	13,36	13,77	4,55

Tabla 6. Coeficiente de Aserrío real de *Lonchocarpus castillloi* Standl, por dimensiones y tipos de productos aserrados.

Dimensiones	*Coeficiente de Asierre (%)*			
	Albura	*Duramen*	*Rechazo*	*Total*
Cortas dimensiones	8,48	6,99	2,52	18,00
Largas dimensiones	9,33	7,11	6,89	23,34
Total	17,82	14,11	9,41	41,34

Lonchocarpus castilloi Standl (Tabla 6), se obtuvo para las dos longitudes y las tres calidades establecidas. Con base en el rendimiento obtenido de 41,34% sin corteza, se determinó que en el aserradero se obtienen 175 pies tabla por cada metro cúbico en rollo procesado de machiche.

El volumen promedio y el rendimiento permiten a la administración del aserradero medir la eficiencia del proceso productivo y realizar los ajustes necesarios para incrementarlo. Este coeficiente de aserrío (41,34%) resultó superior que el coeficiente de 35,22% calculado para la misma especie en un estudio realizado por Acosta (1999). Tal diferencia puede deberse principalmente a la falta de especialización de los operarios clave; al considerar que fue empleado el mismo equipo de aserrado y se trabajó con un diámetro medio de 43 cm. Al respecto, Nájera *et al.* (2011) mencionan que entre los principales factores que afectan el rendimiento de madera aserrada, destacan el diámetro, clase, calidad y forma de las trozas, los tiempos empleados en el proceso, el patrón de corte, el tipo de sierra, las dimensiones de los productos a obtener, la especialización de los operarios y las condiciones del equipo de aserrío. Comparado con el estudio de Herrera (2008), que obtuvo un rendimiento de 41,61% para machiche, el coeficiente obtenido en este trabajo resulta similar.

Si se toma como base de comparación el intervalo de coeficientes de rendimiento de 35% a 40% encontrado por Reuter *et al.* (1998), determinado para maderas duras tropicales, el coeficiente obtenido en este trabajo resulta ligera-

mente superior. Aunque este coeficiente resultó inferior, para el rendimiento de 45% a 55%, determinado para especies frondosas por Rocha (2002). También es inferior a 58%, establecido para especies latifoliadas por El Instituto Nacional de Bosques, citado por Herrera (2008).

Los residuos generados por el aserrado de *Lonchocarpus castilloi* Standl, sumaron 58,66%, los cuales resultan altos al comparar con los valores de 40,17%; 46,10% y 37,37% calculados por Biasi y Rocha, (2006) en el aserrío de *Erisma uncinatum*, *Mezilaurus itauba* y *Qualea albiflora*, respectivamente. Como indican estos mismos autores, tal vez el mayor problema que enfrenta la industria de la madera aserrada es el bajo aprovechamiento de materia prima, que acarrea un aumento en el costo del producto final y una gran generación de residuos. Por su parte, Velázquez *et al.* (2006) plantean que los altos niveles de residuos en un aserradero revelan falta de tecnologías apropiadas y la necesidad de pensar en alternativas que puedan suplir el déficit de ganancias de la industria por concepto de venta de madera aserrada. Si bien en Quintana Roo se han dado algunos avances importantes en la industria forestal ejidal, se requiere mejorar el proceso de aserrado de especies latifoliadas; esto es particularmente necesario debido a que la empresa forestal ejidal, desde 1994 está comprometida con la certificación forestal y los principios del Forest Stewardship Council, por medio de la evaluación del programa Smartwood de Rain Forest Alliance.

El nivel de aprovechamiento de la materia prima en general en un aserradero depende en grado considerable de los métodos utilizados para la elaboración de la madera aserrada (Álvarez-Lazo *et al*-, 2004; Murara *et al.*, 2005). Un sistema de corte que genera mejores rendimientos en una especie, puede no ser el mejor sistema para otra especie. Lo anterior fue encontrado por Valera y Salvador (2009), quienes analizaron dos tipos de corte en dos especies. Para la especie *Iryanthera laevi* Margrak, registraron un rendimiento de 46,9%, empleando el sistema de corte denominado al cuartón de brusellas, contra 66,8% obtenido empleando el sistema de corte tradicional. La segunda especie *Simarouba amara* Aubl registró un coeficiente de 44,9% con el sistema de aserrío al cuartón de brusellas, mientras que se obtuvo un rendimiento de 40,9% al emplear el sistema de aserrío tradicional.

De acuerdo con el análisis de correlación entre el volumen de madera en rollo y el volumen de madera aserrada por tipos de productos aserrados, se observa una favorable asociación entre éstas (Tabla 7). El grado de asociación mayor corresponde al volumen de madera en rollo con el volumen total de madera aserrada; la menor correlación es para su relación con el volumen de rechazo.

Una tendencia similar se observó en el análisis de correlación del volumen de madera en rollo y el número de piezas de tablas producidas por tipos de calidad (Tabla 8). Al igual que en la tabla 7, la mayor dependencia fue para la madera en rollo con el número total de tablas aserradas y la menor asociación fue con las tablas de rechazo.

Se han realizado diversos estudios para determinar los factores que influyen en la tendencia del rendimiento en un lote de trozas. Autores como Zavala y Hernández (2000), Velázquez *et al.* (2006) y Nájera-Luna *et al.* (2011), encontraron que el rendimiento en madera aserrada decrece con el incremento en longitud. Al respecto Steele, (1984), señala que esta tendencia es debida al efecto de la forma de la troza, puesto que

Tabla 7. Correlación del volumen de madera en rollo entre el volumen de madera aserrada de *Lonchocarpus castilloi* Standl.

Variables relacionadas	*Coeficiente de Correlación*
Volumen de madera en rollo-volumen de tablas calidad duramen	0,84
Volumen de madera en rollo-volumen de tablas calidad albura	0,85
Volumen de madera en rollo-volumen de tablas calidad rechazo	0,82
Volumen de madera en rollo-volumen total de tablas	0,97

Tabla 8. Correlación del volumen de madera en rollo con el número de piezas de tablas producidas de *Lonchocarpus castilloi* Standl.

Variables relacionadas	*Coeficiente de correlación*
Volumen de madera en rollo-número de piezas de tablas de duramen	0,85
Volumen de madera en rollo-número de piezas de tablas de albura	0,91
Volumen de madera en rollo-número de piezas de tablas de rechazo	0,59
Volumen de madera en rollo-número total de tablas	0,95

a mayor largo es probable que la troza se encorve y pierda rectitud ocasionando problemas para encontrar la adecuada geometría del aserrío.

Al analizar el rendimiento por categoría diamétrica, Zavala y Hernández (2000) y Nájera-Luna *et al.* (2011), no encontraron una tendencia de aumento con el incremento en diámetro de las trozas de coníferas en el rango de categorías diamétricas de 30 cm a 65 cm. Murara *et al.* (2005) encontraron que el aserrío convencional no mostró tendencia de incremento con el aumento en diámetro de las trozas, mientras que con el aserrío optimizado el rendimiento fue mayor en todas las clases con el aumento en diámetro de las trozas. Para Nájera-Luna *et al.* (2011), el largo de las trozas influye en el rendimiento de madera aserrada, puesto que a medida que aumenta su longitud, el rendimiento disminuye pero se aumenta la productividad. Por su parte, Valera y Salvador (2009) encontraron una relación positiva altamente significativa entre el diámetro promedio de las trozas y el número de piezas de madera aserrada, por tanto, a menor número de cortes se obtiene un mayor rendimiento.

Entre el conjunto de recomendaciones emitidas por diversos autores, para contribuir a elevar la eficiencia de conversión en los aserraderos, se encuentran: acondicionar maquinaria y equipo para el aserrado de los diversos grupos de especies (García y Moya, 1998), especialmente porque a mayor calidad del aserrado se incrementa el volumen de madera aserrada; capacitar a los operarios clave en el asierre sobre normas de clasificación y control de calidad (Guillén y Chávez, 1996). Emplear programas de control de dimensiones en aserraderos y utilizar equipo con reducción de residuos (Steele *et al.*, 1991; Álvarez-Lazo *et al.*, 2004). Implantar un sistema de clasificación y selección de trozas, identificando clases diamétricas en los aserraderos (Murara *et*

al., 2005). Investigar el contenido de humedad de trozas propicio (Quirós *et al.*, (2005), para que se requiera un menor afilado de las sierras (García y Moya, 1998). Utilizar patrones de corte para cada clase de diámetro (García y Moya, 1998; Murara *et al.*, 2005), según el tipo de producto a obtener (Aguilera *et al.*, 2005; Biasi y Rocha, 2006 y García *et al.*, 2009).

Determinación de tiempos. De acuerdo con los datos obtenidos del proceso de aserrado en la sierra principal, el tiempo total observado fue de 141,27 horas. Para Guillén y Chávez (1996), el tiempo trabajado productivo en la sierra principal, es considerado como el mejor indicador de la efectividad del aserradero. En el presente estudio, 68% del tiempo trabajado es productivo (94,37 horas), porcentaje que resulta similar al tiempo trabajado productivo determinado por Guillén y Chávez (1996) para el aserrado de *Swietenia macrophylla* (caoba) que es madera clasificada como blanda, mientras que *Lonchocarpus castilloi* Standl está clasificada por Bárcenas (1995) como madera dura y de difícil trabajabilidad en el aserrío. En la figura 6 se muestra la proporción de tiempos obtenidos con respecto al tiempo total observado.

El porcentaje del tiempo trabajado del presente estudio es 3,5% menor que el tiempo productivo de 71,42%, encontrado por León (2001) para el aserrado de pinos. Por lo anterior, al considerar que la sierra de corte requería afilado constante al emplear madera de aserrado difícil, y por la falta de un tratamiento previo que facilite el aserrado de maderas duras, el resultado de esta clase de tiempo obtenido puede considerarse aceptable, aunque resulta inferior en 28,28% con el tiempo productivo de 96,28% para el asierre de pinos, estimado por Ramírez (1995) en Tepehuanes, Durango.

El tiempo trabajado no productivo en la sierra principal fue de 27,09 horas (19%), el cual se distribuyó como se muestra en la figura 7. El afilado y el cambio de sierra emplearon 56% del tiempo trabajado no productivo, esto debido, principalmente, a la falta de una mayor cantidad de cintas de repuesto para el corte de maderas duras.

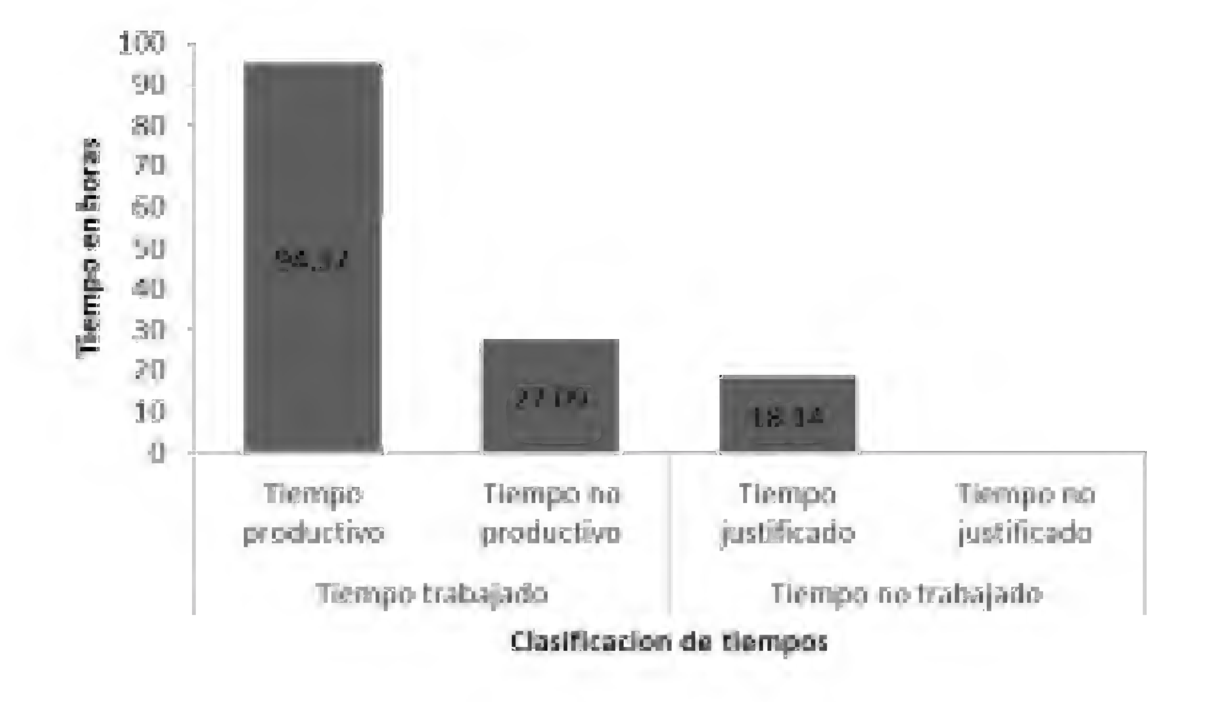


Figura 6. Distribución de tiempos en la producción de madera aserrada de *Lonchocarpus castilloi* Standl.



Figura 7. Distribución del tiempo trabajado no productivo en la sierra principal, durante el asierre de *Lonchocarpus castilloi* Standl.

Esta clase de tiempo obtenido puede considerarse elevado comparado con 3,71% encontrado por Ramírez (1995) para el aserrío de pinos y con 13,63%; encontrado por Guillén y Chávez (1996) para el aserrío de caoba, pero es similar al 19,1%, determinado por León (2001), quien realizó un estudio para coníferas en sierra sur del estado de Oaxaca.

El tiempo no trabajado justificado (Fig. 8), en la sierra principal, sumó 18,14 horas (13%). Este tiempo se debió principalmente a la falta de un plan de operación anual del aserradero, y principalmente a la falta de capital para invertir en el mantenimiento del equipo de asierre. En Bolivia, Guillén y Chávez (1996) determinaron un 14,50% del tiempo no trabajado justificado para el asierre de caoba. Por su parte, León (2001) estimó 9,19% del tiempo no trabajado justificado en el aserrado de coníferas.

En el aserradero ejidal Tres Garantías operan un total de 21 trabajadores, la producción de madera aserrada es función de 6 trabajadores; quienes en el aserrado de las 815 trozas produjeron un volumen de 80,78 m^3. La variabilidad del asierre se reflejó en el tiempo trabajado y en el tiempo no trabajado. En el día menos productivo se trabajó durante dos horas, mientras que en el día más productivo se trabajó por 6,95 horas. En promedio se trabajó 4,86 horas por día.

Determinación de la productividad. Por hora laborable en el aserradero en promedio se procesaron 5,76 trozas, mientras que la producción del volumen de madera aserrada por jornada por hora se ubicó en 0,027 m^3. La productividad, que corresponde al volumen en metros cúbicos de madera aserrados por hora, indica que en promedio se procesaron 0,571 m^3/h. Este resultado es inferior, con respecto a otros estudios realizados, como la productividad de 6,62 m^3/h encontrada por Ramírez (1995) en Durango; la de 3,49 m^3/h calculada por García *et al.* (2001), quienes trabajaron en cuatro aserraderos en el estado de Jalisco; la de 2,17m^3/h calculada por Estévez *et al.* (2010), empleando un aserradero portátil; y el valor más



Figura 8. Distribución del tiempo no trabajado justificado en la sierra principal, durante el asierre de *Lonchocarpus castilloi* Standl.

elevado, obtenido por Nájera *et al*. (2011) de 7,57 m^3/h, para la región de El Salto, Durango, en el aserrado de encinos y pinos. En sentido estricto, una comparación de productividades del aserrado de coníferas con la productividad obtenida en este estudio, puede no ser válida, por tanto es empleada únicamente como referencia al ser la única información disponible. Adicionalmente debe considerarse que la productividad de 0,571 m^3/h, está en función de los objetivos de producción del aserradero; en este estudio, los objetivos del aserrado de machiche consistieron en obtener el mayor volumen de madera de largas dimensiones con contenido exclusivo de duramen.

Autores como Murara *et al*. (2005) y Nájera-Luna *et al*. (2011) encontraron que la productividad incrementa a medida que aumenta el diámetro, la longitud de las trozas y la velocidad de alimentación. En este caso, la productividad determinada refleja una baja eficiencia por varios factores que influyen en diversas intensidades, tales como el deterioro de los fustes en patio por un año, la falta de hidratación de las trozas previo al aserrado, limitaciones tecnológicas para el asierre de maderas duras y la falta de capitalización para el mantenimiento previo al periodo de asierre anual. Los valores mencionados indican que el aserradero está enfrentando altos costos de producción que afectan directamente las utilidades.

De acuerdo con Jiménez, citado por Ramírez (1995), toda empresa que desee mejorar su productividad y rentabilidad, tendría que considerar la reducción de tiempos no productivos y ociosos a 5% del tiempo total. Mientras que, Adams y Helvoigt (2008) mencionan que la mayor parte del crecimiento de la productividad de la industria del aserrío tiene su origen en cambios técnicos para el asierre. Por tanto es deseable, con el fin de incrementar la productividad, actualizar el programa de desarrollo forestal industrial,

adecuar el equipo para el asierre de maderas tropicales, programar capacitación, desarrollar investigación y monitorear la productividad.

CONCLUSIONES

Las 815 trozas del estudio sumaron un volumen de 194,6 m^3 rollo fuste sin corteza (rfsc), que al ser aserrados, proporcionaron un volumen 80,8 m^3 de madera aserrada. Se requieren 2,45 m^3 rfsc de *Lonchocarpus castilloi* Standl para producir un metro cúbico de madera aserrada.

El coeficiente de aserrío real total fue de 41,3%, del cual 17,8% correspondió a madera de albura, 14,1% a madera de duramen y 9,41% a madera de rechazo.

El tiempo trabajado productivo fue de 68%. El tiempo trabajado no productivo fue de 19%, el tiempo no trabajado justificado se ubicó en 13%. La productividad en el aserrado de *Lonchocarpus castilloi* Standl se ubicó en 0,57 m^3/h.

Con el propósito de incrementar la productividad en el proceso de aserrado, se recomienda: mejorar las prácticas de mantenimiento de la maquinaria y equipo, mejorar las herramientas de corte, mejorar la capacitación de afiladores y aserradores, sobre todo en el uso de plantillas de aserrado y ajuste de sierras a requerimiento, especialmente por la utilización de la misma maquinaria en el aserrado de maderas blandas y duras tropicales, clasificar las trozas por calidades, en patio; como tratamiento previo al aserrío hidratar y eliminar incrustaciones en las trozas de maderas duras que así lo requieran y considerar la estandarización de longitudes en la troza. Es deseable continuar con estudios de rendimiento de aserrado en maderas tropicales, considerar elementos como, calidad de trocería y clasificación en categorías de diámetro y longitud, velocidad de alimentación, inclinación y ancho del ángulo de ataque, variación del corte, tipo y características de la sierra de corte, calidad de la madera aserrada, evaluar otros sistemas de corte. También es deseable realizar un estudio de tiempos a detalle, donde se evalúe la eficiencia y productividad de la maquinaria y equipo y la del personal.

RECONOCIMIENTOS

Se reconoce a la Sociedad de Productores forestales Ejidales del Sur de Quintana Roo (SPFEQRoo), al administrador del aserradero ejidal y a los ejidatarios de Tres Garantías, por el interés en la realización de este estudio.

REFERENCIAS

Acosta R., A. 1999. Coeficientes de aserrío para las especies Machiche (*Lonchocarpus castilloi* Standl) y Chechen (*Metopium brownei* (Jacq) Urban), en los aserraderos ejidales de Noh-bec y Tres Garantías, Quintana Roo, México. Memoria de residencia profesional. Instituto Tecnológico Agropecuario núm. 16, Juan Sarabia, Quintana Roo. México. 51 p.

Adams, D.M y T. Helvoigth L. 2008. Data envelopment analysis of technical efficiency and productivity growth in the US Pacific Northwest sawmill industry. Canadian Journal of Forestry Research 38(10):2253-2565.

Aguilera, A., L. Inzuza, R. Alzamora y L. Tapia. 2005. Evaluación del costo de producción para faenas de aserrío portátil. Bosque 26(2):107-114.

Álvarez-Lazo, D., E. Andrade-Fernando, G. Quintín-Cuador y A. Domínguez-Goizueta. 2004. Importancia del control de las dimensiones de la madera aserrada. Revista Chapingo, serie Ciencias Forestales y del Ambiente 10(2):105-110.

Ayerde L., D. 1993. Metodología para la determinación de coeficientes de aserrío. SARH-INIFAP-CIR. Folleto técnico núm. 1. Chilpancingo, Gro. 19 p.

Bárcenas P., G.M. 1995. Caracterización tecnológica de veinte especies maderables de la Selva Lacandona. *Madera y Bosques* 1(1):9-38.

Bennett, B.F. 1972. Marginal logs and profitability of low investment sawmills. Journal of Forestry (2):26-27.

Biasi C., P. y M.P. Rocha. 2006. Rendimento em madeira serrada e cuantificacao de residuos para tres especies tropicais. Floresta 37(1):95-108.

Brown C., N. y J.S. Bethel. 1990. La industria maderera. Séptima reimpresión, Editorial Limusa Noriega. México D.F. 397 p.

Chávez, A. y A. Guillén. 1997. Estudio de rendimiento, tiempos y movimientos en el aserrío. Manual práctico. Documento técnico 62.Proyecto BOLFOR. Santa Cruz Bolivia. 29 p.

Estévez M., W.L., G.I. Bolzon M, M.G. Lomelí y D.C. Bautista. 2010. Estudio de la productividad de corte en madera de *Pinus elliottii* utilizando un prototipo de aserradero móvil. Maderas, Ciencia y Tecnología 12(1):43-52.

Flores-Velázquez, R., E. Serrano-Gálvez, V.H. Palacio-Muñoz y G. Chapela. 2007. Análisis de la industria de la madera aserrada en México. *Madera y Bosques* 13(1):47-59.

Forster, R., H. Albrecht, M. Belisle, A. Caballero, H. Galletti, O. Lacayo, S. Ortiz y D. Robinson. 2002. Comunidades forestales y el mercadeo de maderas tropicales poco comerciales de Mesoamérica. Universidad de Quintana Roo, USAID, USDA. México. 156 p.

Fuentes-López, M.E., J.A. García Salazar y J. Hernández Martínez. 2006. Factores que afectan el mercado de madera aserrada de pino en México. *Madera y Bosques* 12(2):17-28.

García R., J.D., L. Morales y S. Valencia. 2001. Coeficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda del Sur de Jalisco. Foresta-AN. Nota Técnica núm. 5. UAAAN, Saltillo, Coah. 12 p.

García D., J.M., O. Izquierdo, P.P. Henry y A. Domínguez G. 2009. Algunos aspectos relacionados con la calidad de la madera aserrada de *Pinus caribaea* Morelet var. Caribaea. Ra Ximhai 5(3):259-270.

García S., R. y R. Moya. 1998. El aserrío de *Dialium guianense* (Aubl) Sandwit en Costa Rica. *Madera y Bosques* 4(1):41-51.

Guillén, A. y J. Chávez. 1996. Estudio de tiempos y rendimientos en aserrío de Mara en un aserradero de cinta en Santa Cruz. BOLFOR. Bolivia. Bol. núm. 6:9-10.

Gutiérrez P., H. y S.R. De la Vara. 2008. Análisis y diseño de experimentos. 2a ed. McGraw-Hill Interamericana. México. 545 p.

Herrera T., W.D. 2008. Monitoreo de actividades de aprovechamiento forestal sostenible, realizado en la unidad de

manejo Uaxactún reserva de la biosfera Maya, Petén Guatemala. Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 133 p.

Juacida R., P. y E. Saldivar. 2000. Aserrío y secado de tres cultivares de *Populus x euramericana* (Dode) Guinier creciendo en Valdivia, Chile. Bosque 21(1):65-71.

León M., J.S. 2001. Análisis del coeficiente de asierre del aserradero de San Pedro el alto, Zimatlán, Oaxaca. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico Agropecuario núm. 23. Ex–hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. 136 p.

Martínez-Pastur, G., J.M. Cellini, M.V. Lencinas, B. Díaz, P.L. Peri y R.F. Vukasovic. 2002. Funciones de rendimiento volumétrico en pie y en aserradero para la Lenga (*Nothofagus pumilio*). Ciencias Forestales 15(1-2):32-45.

Meneses, M. y S. Guzmán. 2000. Productividad y eficiencia de la producción forestal basada en plantaciones de Pino radiata. Bosque 21(2):3-11.

Moya R., R. y R. Córdoba. 1995. Evaluación del aserrío y trabajabilidad de madera de Pochote (*Bombacopsis quinatum*) de ocho años de edad. Revista Forestal Centroamericana 4(12):19-30.

Murara M., I., M.P. da Rocha y R. Timofeikzyc. 2005. Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologías de desdobro. Floresta 35(3):473-483.

Nájera-Luna, J.A., I. Rodríguez R., J. Méndez G., J.J. Graciano L., F. Rosas y F.J. Hernández. 2006. Evaluación de tres sistemas de asierre en *Quercus sideroxyla* Humb & Bompl., de El Salto, Durango. Ra Ximhai 2(2):497-513.

Nájera-Luna, J.A., O.A Aguirre-Calderón, E.J Treviño-Garza, J. Jiménez-Pérez, E. Jurado-Ybarra, J.J. Corral-Rivas y B. Vargas-Larreta. 2011. Tiempos y rendimientos del aserrío en la región de El Salto, Durango, México. Revista Chapingo, serie ciencias forestales y del ambiente 17(2):199-213.

Quirós, R., O. Chinchilla y M. Gómez. 2005. Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales. Agronomía Costarricense 29(2):7-15.

Ramírez H., M. 1995. Tiempos y movimientos para un aserradero fijo con sierra banda en Tepehuanes Durango. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Agronomía. Buenavista, Saltillo, Coahuila México. 57 p.

Reuter, M., C. Schulz y C. Marrufo. 1998. Manual Técnico Forestal. Información básica, métodos y procedimientos. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit GmbH. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. Acuerdo México-Alemania. Hidroeléctrica infiernillo 157, Chetumal, Quintana Roo, México. 133 p.

Rocha M., P. 2002. Técnicas e planejamento em serrarias. Ed. rev. ampl. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná.121 p

Romahn, C., H. Ramírez y J.L. Treviño. 1994. Dendrometría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 353 p.

Rueda-Sánchez, A., A. Gallegos-Rodríguez, D. González-Eguiarte, J. de D. Benavides-Solorio, J.A Ruiz-Corral y E.

López-Alcocer. 2007. Coeficiente de aserrío de madera en rollo de plantaciones forestales de especies tropicales en Jalisco. VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Michoacán. 13 p.

Steele, P. H. 1984. Factors determining lumber recovery in sawmilling. Gen. Tech. Rep.FPL- 39. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 8 p.

Steele, P.H., F.G. Wagner y K.E. Skog. 1991. Regional softwood sawmill processing variables as influencend by productive capacity. United States Department of Agriculture Forest Service.15 p.

Valera D., L.M. y M.I. Salvador C. 2009. Análisis de dos tipos de corte en el aserrío de la madera de dos especies forestales de la zona de Pucallpa. Revista Forestal UCAYALY 5(1):5-32.

Valerio A., F., L. Farinha W, R. Tavolca, C. Brandelero y H. Soares K. 2007. Cuantificação de resíduos e rendimento no desdobro de *Araucaria angustifolia* (BERTOL) O. KUNTZE. Floresta 37(3):387-398.

Velázquez D., D., K. Manzanares A, M.A. Guyat y E. Sánchez T. 2006. Rendimiento de materia prima en un aserradero de la provincia de Pinar del Rio Cuba. Revista Forestal Baracoa 25(1):97-104.

Zavala Z., D. 1994. Control de calidad en la industria de aserrío y su repercusión económica. INIFAP. Bol. Téc. núm. 115. Coyoacán, D.F. México. 48 p.

Zavala Z., D. 2003. Efecto del sistema de aserrío tradicional en las características de la madera de encinos. *Madera y Bosques* 9(2):29-39.

Zavala Z., D. y R. Hernández C. 2000. Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques* 6(2):41-55.

Manuscrito recibido el 19 de abril de 2012.
Aceptado el 21 de junio de 2012.

Este documento se debe citar como:
Acosta-Ramos, A. y J. Martínez-López. 2012. Productividad del aserrado de machiche (*Lonchocarpus castilloi* Standl), en Tres Garantías, Quintana Roo, México. *Madera y Bosques* 18(2):7-26.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Contribución de la industria forestal al desarrollo económico de la región del Biobío, Chile

Forest industry contribution to economic development of the Biobio region, Chile

Cristian Mardones P.[1] y Álvaro Gallardo A.[2]

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos que tendría un shock exógeno de demanda sobre cada subsector forestal (silvicultura, madera, celulosa y papel y muebles) sobre la actividad económica, remuneraciones, ingreso y medioambiente de la región del Biobío, Chile. Para ello se utilizó una Matriz de Contabilidad Social Extendida Ambientalmente para Biobío con año base 2006 que permitió simular impactos de variaciones en la demanda final con un modelo económico intersectorial. Los resultados permiten concluir que cada subsector forestal genera diferentes contribuciones al desarrollo económico de la región del Biobío. Específicamente, la industria de la madera presenta la más alta participación en el PIB y es la mayor demandante de insumos de otros sectores por su alto encadenamiento hacia atrás, la silvicultura es un sector estratégico, la industria de la celulosa genera mayores efectos en las remuneraciones y altas emisiones contaminantes y la fabricación de muebles genera las menores emisiones contaminantes.

PALABRAS CLAVE:
Desarrollo económico, matriz de contabilidad social, medioambiente, modelo insumo-producto.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effects that would have an exogenous demand shock of forestry sub-sectors (silviculture, timber, pulp and paper, and furniture) on the economic activity, wages, incomes and the environment of the Biobío Region, Chile. For this purpose, was used an Environmental Extended Social Accounting Matrix for Biobío with base year 2006 which allowed simulating impacts of changes in final demand with a sectorial economic model. The results show that each forestry sub-sector generates different contributions to the economic development of the Biobío region, specifically the timber industry has the highest share of GDP and is the greatest consumer of inputs from other sectors for their high backward linkage, silviculture is a strategic sector for its raw material supply, the pulp industry generates greater impact on wages and high pollutant emissions, and furniture manufacturing generates lower pollutant emissions.

KEYWORDS:
Economic development, social accounting matrix, environment, input-output model.

1 Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería Universidad de Concepción. Edmundo Larenas 215, Ciudad Universitaria, Concepción, Chile. C.e.: crismardones@udec.cl
2 Programa Magíster en Ingeniería Industrial. Universidad de Concepción. C.e.: alvargallardo@udec.cl

INTRODUCCIÓN

La economía de la región del Biobío se caracteriza por la importancia de la actividad forestal; según datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 72% de las exportaciones regionales provienen de la industria de la madera, celulosa y papel. En zonas cercanas a la costa de esta región las plantaciones forestales pueden alcanzar participaciones sobre la superficie comunal de hasta 82%. Las especies más importantes son *Pinus radiata* con 71% y *Eucaliptus globulus* con 22%. La producción de madera aserrada regional representa 62% de la producción nacional, la fabricación de tableros y chapas regional es de 81% de la producción nacional; además, la región aporta 67% de la producción de celulosa y el 100% de la industria de papel del país. A pesar de la relevancia del sector forestal, hasta la fecha no existe un estudio de los impactos que genera esta actividad en el desarrollo económico de la región del Biobío.

Este tipo de análisis cobra relevancia dado que la actividad forestal está fuertemente influenciada por la demanda internacional, por lo que distintos shocks (perturbaciones sobre variables económicas exógenas), que afecten los precios internacionales, tienen repercusiones directas e indirectas en la actividad económica regional. Para analizar estos efectos se utilizan modelos económicos que son capaces de representar el escenario base y escenarios contrafactuales. Una de las herramientas existentes son las matrices de contabilidad social (SAM, Social Accounting Matrix), que representan todas las transacciones y transferencias (monetarias) ocurridas en una economía, en un determinado periodo y nacen de la necesidad de tener un sistema completo ayudando a describir las características estructurales de una economía.

Con una SAM se puede obtener información sobre redistribución del ingreso y patrones de gastos de las instituciones involucradas en las transacciones de bienes y servicios, permitiendo entender las interrelaciones existentes (Keuning Turkey y de Ruijter, 1988). Algunas aplicaciones mencionadas en la literatura son el análisis de la elasticidad del ingreso y los multiplicadores de empleo (Batey y Weeks, 1987); efectos del empleo en la redistribución del ingreso (James y Khan, 1993); análisis de crecimiento económico para países en desarrollo (Vos y Jong, 2003) y análisis de cómo la estructura sectorial del crecimiento contribuye a la desigualdad de ingresos de los hogares, así como entre los trabajadores (Pieters, 2010).

El uso de las SAM también se ha ampliado para agregar variables medioambientales, obteniendo una Matriz de Contabilidad Social Extendida Ambientalmente (SAMEA). Esta matriz extendida provee información integrada al describir las relaciones entre las actividades económicas y las emisiones contaminantes, pero además, puede ser usada como una herramienta de modelación para análisis de políticas relacionadas con la contaminación. Uno de los trabajos pioneros en el desarrollo de estas matrices fue el realizado por Cumberland (1966), extendiendo ambientalmente la matriz para considerar las actividades relacionadas con la contaminación. Se han construido SAMEA para diversos países como China (Xie, 2000), Bolivia (Alarcón *et al.*, 2000), Brasil (Lenzen y Schaffer, 2004), España (Morilla *et al.*, 2005), México (González *et al.,* 2008), entre otros.

Este trabajo utiliza una SAMEA para la región del Biobío desarrollada por Mardones y Saavedra (2011), la cual se complementa con otras fuentes de información para analizar cómo una variación en la demanda final de cada subsector de la industria forestal afectaría directa e indirectamente el resto de los sectores

económicos de la región del Biobío, el nivel de remuneraciones e ingreso y las emisiones contaminantes al aire y al agua. Los resultados permiten concluir que cada subsector forestal genera distintas contribuciones a cada uno de los elementos que conforman el concepto de desarrollo económico.

OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es cuantificar los impactos directos e indirectos que genera cada uno de los subsectores forestales sobre el desarrollo económico de la región del Biobío, utilizando un modelo económico multisectorial calibrado con datos que permiten caracterizar el flujo circular de la renta y emisiones contaminantes en la economía de esta región.

Los objetivos particulares son la cuantificación de los impactos específicos sobre la actividad económica regional, la distribución del ingreso y el ambiente.

METODOLOGÍA

Para desarrollar este trabajo, se utilizó una SAM regional extendida ambientalmente que incluyó 24 sectores productivos, siete factores productivos, cinco hogares representativos de los quintiles de ingreso, un gobierno, el resto del país y el resto del mundo, así como también siete contaminantes emitidos al aire y tres descargados al agua. Los datos de la SAM regional provienen de una investigación previamente publicada, la cual fue combinada con datos económicos intersectoriales de los subsectores forestales a nivel país, provenientes de la Matriz Insumo-Producto de Chile, esto permitió generar un nivel de desagregación de los sectores productivos de la región del Biobío, acorde con el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo. Luego, se calibró con esta base de datos el modelo multisectorial de Pyatt y Round (1979) para realizar análisis contrafactuales que permitieron analizar indicadores de aspectos del desarrollo económico alterados por shocks de demanda final en el sector de silvicultura, madera, celulosa y papel y muebles. A continuación se presentan en forma detallada los aspectos metodológicos.

Representación de la SAM regional

Una SAM regional refleja las interrelaciones entre los diversos sectores y agentes económicos de una región, pero también las transacciones económicas con el resto del país y el resto del mundo. El grado de desagregación de la SAM depende del objetivo del estudio, en este caso se contaba con una matriz con mayor agregación para el sector forestal que el requerido. Específicamente, la SAM disponible fue elaborada por Mardones y Saavedra (2011). Ésta agregaba la actividad silvícola con la agrícola y la industria maderera con la industria de muebles, por lo cual tuvo que ser desagregada con información complementaria, mediante métodos indirectos de optimización para considerar explícitamente los subsectores forestales de interés: silvícola, industria de la madera, industria de la celulosa y papel e industria de muebles (ver detalles del procedimiento de desagregación en el Apéndice A). Esta nueva SAM incluyó otros 20 sectores[1] que a través de su interrelación

1 Agropecuario; pesca; minería; alimentos, bebidas y tabaco; textil, prendas de vestir y cuero; química, petróleo, caucho y plástico; fabricación de productos minerales no metálicos; metálica básica; productos metálicos, maquinaria y equipos; resto industria; electricidad; gas; agua; construcción; comercio, restaurantes y hoteles; transporte; comunicaciones; servicios financieros y empresariales; servicios personales y propiedad de vivienda; administración pública.

económica con los subsectores forestales ayudaron a determinar los efectos indirectos sobre el desarrollo económico. Finalmente, para obtener indicadores más específicos sobre la distribución del ingreso se dividieron los hogares en quintiles de ingreso, el trabajo según género y nivel de estudios (no calificado, semicalificado y calificado). Para ello se utilizó información de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN) sobre los ingresos de los hogares de la región del Biobío. Dichos ingresos fueron ordenados, de mayor a menor, en cinco partes iguales al número de hogares, con lo cual se obtuvieron los cinco quintiles (donde el primer quintil representa 20% de la población más pobre hasta el quinto quintil que representa 20% de la población más rica). La misma fuente se utilizó para la desagregación de remuneraciones regionales por sector económico y por género, con la cual se construyeron las participaciones relativas sobre las remuneraciones totales de cada sector económico de la SAM.

Matriz de Contabilidad Social y Medioambiental

De la misma forma que la SAM, la extensión ambiental estuvo sujeta a restricciones de información por los niveles de desagregación requeridos, lo que obviamente afecta la validez de las conclusiones. En este estudio, para obtener las emisiones de contaminación, se utilizó información del Registro Nacional de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) y de la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA). Para el subsector industria de la madera, celulosa y papel y fabricación de muebles las emisiones en toneladas de material particulado respirable (MP_{10}), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO_x) fueron obtenidas indirectamente de la ENIA. Las emisiones, en toneladas, por tipo de contaminante asociadas a cada sector económico se estimaron a partir de los consumos totales de combustibles, multiplicados por sus respectivos factores de emisión (kg de contaminante / kg de combustible), siguiendo la metodología del informe "Estimación de emisiones contaminantes atmosféricas a partir de la encuesta nacional industrial anual para alimentar el registro nacional de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC)". Para los sectores económicos no industriales, cuyas emisiones no se pudieron obtener de la ENIA, se utilizó información ya procesada del RETC, en la cual se detallaban las toneladas de contaminantes por sector económico.

Modelo Multisectorial

La SAM constituye un soporte numérico para desarrollar distintos modelos multisectoriales. Existen modelos multisectoriales con distinto grado de complejidad, los modelos lineales se caracterizan por asumir imposibilidad de sustitución en las funciones de producción y rigideces de precios, por lo que no son apropiados para estudiar situaciones de largo plazo. Para subsanar estas limitaciones, cuando se desean hacer simulaciones de políticas económicas a más largo plazo se utilizan modelos de equilibrio general computables, estáticos o dinámicos.

La alternativa escogida para este estudio, por su simpleza y por el experimento contrafactual a desarrollar, fue la utilización del modelo lineal de Pyatt y Round (1979), el cual exige definir las cuentas en endógenas y exógenas. Las cuentas exógenas son las determinadas fuera del sistema económico, constituyendo instrumentos de políticas econó-

micas y pueden ser las relacionadas con el gobierno, la inversión y el comercio exterior. El resto, por lo tanto, se considera endógeno. Para este trabajo se definieron como cuentas endógenas las ramas de actividad, los factores productivos y los hogares, y como cuentas exógenas el gobierno, inversión, resto del país y resto del mundo. En la tabla 1 se presenta la SAM particionada con base en cuentas endógenas y exógenas.

N *es* una matriz de la SAM que representa las transacciones entre las cuentas endógenas, x es una matriz que representa la inyección desde las cuentas exógenas a las endógenas, *L* es una matriz de fugas de las cuentas endógenas a las exógenas, y *r* es una matriz de transacciones de la SAM entre las cuentas exógenas. Los multiplicadores de la SAM pretenden visualizar los efectos que se producen en las cuentas endógenas, debido a cambios en las cuentas exógenas, al igual que las Matrices Insumo-Producto, pero la diferencia es que los multiplicadores de la SAM agregan el efecto indirecto e inducido. A continuación se presentan las relaciones de la tabla 1, entre las cuentas endógenas y exógenas:

$$N = A_n \cdot \bar{y}_n \quad (1)$$

La ecuación 1 representa las transacciones entre las cuentas endógenas y es igual a la multiplicación de la matriz de propensiones medias al gasto A_n y el vector de ingresos endógeno.

$$L = A_l \bar{y}_n \quad (2)$$

La ecuación 2 establece que la matriz de fugas *L* se representa como la multiplicación de la matriz de propensiones medias a las filtraciones A_L y el vector de ingresos endógeno.

$$y_n = A_n \cdot y_n + x \quad (3)$$

La ecuación 3 muestra que el vector de ingresos endógenos se representa como una suma de dos términos, el primero son las transacciones entre las cuentas endógenas y el segundo las inyecciones desde las cuentas exógenas a las endógenas. Los multiplicadores contables del modelo lineal pueden obtenerse reordenando con algebra matricial la ecuación anterior:

$$y_n = (I - A_n)^{-1} x = Mx \quad (4)$$

donde *M* es la matriz de multiplicadores contables de la SAM. Cada uno de los elementos de esta matriz, definidos como m_{ij}, reflejan el impacto que genera el incremento exógeno en una unidad de ingreso o producción de la cuenta *j* (columna *j*) sobre el ingreso o producción de la cuenta endógena *i* (fila *i*).

Tabla 1. Interrelación entre cuentas endógenas y exógenas

	Cuentas endógenas	*Cuentas exógenas*	*Total*
Cuentas endógenas	$N = A_n \cdot \bar{y}_n$	x	$y_n = A_n \cdot y_n + x$
Cuentas exógenas	$L = A_l \cdot \bar{y}_n$	r	$y_x = A_l \cdot y_n + r$
Total	$y'_n = (i'A_n + i'A_l) \cdot \bar{y}_n$	$y'_x = i'x + i'r$	

FUENTE: Pyatt y Round (1979)

Análisis de Multiplicadores con la Matriz de Contabilidad Social Extendida Ambientalmente

Es muy importante conocer cómo políticas públicas o shocks podrían afectar el crecimiento económico y el medioambiente, es por eso que se recurre a los análisis de multiplicadores con una SAMEA, los cuales dan cuenta del efecto que tienen los shocks externos sobre la economía y el medioambiente. Para ello hay que definir las cuentas que pertenecen a exógenas y endógenas, como se presenta en la tabla 2.

Se pueden relacionar las cuentas medioambientales con las variables económicas en términos físicos, al considerar que las variables medioambientales tienen directa proporcionalidad con la producción de los sectores económicos. Así, se puede estimar un vector de coeficientes técnicos de emisiones al medioambiente (ε_{il}):

$$\varepsilon_{il} = C_{il} \cdot y_i^{-1} \quad (5)$$

C_{il} es un vector de emisiones al medioambiente del contaminante *l*, emitido por el sector *i*, por lo que la ecuación 5 se define como la variación del nivel del contaminante *l*, emitido por el sector *i*, por unidad de producción.

Finalmente, se analizó cómo respondieron las cuentas medioambientales ante variaciones en las cuentas exógenas, por medio de la agregación de los multiplicadores del modelo.

$$y_n = M^{SAMEA} x \quad (6)$$

De esta forma se obtuvieron los indicadores que capturan las variaciones de niveles de los contaminantes, considerando los efectos totales sobre la economía.

$$\varepsilon_{il}^{M} = \sum_j m_{ij}^{SAMEA} \cdot \varepsilon_{jl} \quad (7)$$

RESULTADOS

Se presentan a continuación los principales resultados, a partir de la obtención de la SAMEA que desagrega el sector forestal para la región del Biobío (ver Apéndice B) y la calibración de un modelo lineal multisectorial que permitió modelar shocks de demanda sobre cada uno de los subsectores forestales analizados.

Participación en el PIB

Definiendo el PIB sectorial como la suma del pago a remuneraciones, capital, IVA neto y aranceles es posible construir, a

Tabla 2. División de la SAMEA en cuentas endógenas y exógenas

	SAMEA	*SAM*			*EA*
		Cuentas endógenas	*Cuentas exógenas*	*Total*	*Cuentas endógenas medioambientales*
SAM	Cuentas endógenas	N	x	y_n	C
	Cuentas exógenas	L	r	y_x	-
	Total	y_n	yx	-	CT

FUENTE: Adaptado de Morilla *et al.* (2007)

partir de los datos de la SAM, una aproximación del aporte de la industria forestal al PIB de la región del Biobío. La mayor participación en el PIB del sector forestal de la región del Biobío pertenece al subsector de industria de la madera (7,3%), le sigue el subsector celulosa y papel (6,6%), muebles (1,8%) y, por último, el subsector silvícola (1,6%). Sumando los aportes se concluye que el sector forestal tiene una participación de 17,3% en el PIB regional, mientras que la participación de estos mismos sectores en el PIB nacional es de aproximadamente 2,6%[2], mostrando la importancia de este sector en la economía de esta región.

Indicadores de producción

El encadenamiento hacia atrás del sector *j*-ésimo (BL_j) corresponde a la suma de los elementos de la columna *j* de la matriz (*M*) *de* multiplicadores contables de la SAM, mientras el encadenamiento hacia adelante del sector *i*-ésimo (FL_i) corresponde a la suma de los elementos de la fila *i* de esta matriz.

Un sector con alto encadenamiento hacia atrás es capaz de transmitir los beneficios de cualquier incremento en su demanda final al resto de los sectores. Lo anterior se explica porque para satisfacer este nuevo requerimiento con mayor producción debe, a su vez, demandar insumos de otros sectores productivos que lo abastecen y, a su vez, estos nuevos sectores para elevar su producción requieren demandar insumos de otros sectores, y así sucesivamente hasta que se alcanza la convergencia. Por otra parte, los sectores con alto encadenamiento hacia adelante son aquéllos que elevan fuertemente su producción, estimulados por un incremento la demanda final de todos los sectores económicos, es por ello que son muy sensibles a los cambios que experimente la economía en su conjunto.

En la tabla 3 se observa el encadenamiento hacia atrás de los subsectores forestales de la región del Biobío. Los subsectores de muebles (2,16) y silvicultura (2,29) están bajo la media, mientras los subsectores celulosa y papel (4,75) e industria de la madera (5,32) están sobre la media. Así, este último subsector

Tabla 3. Encadenamientos hacia atrás y hacia adelante

Sector	*Encadenamiento hacia atrás*	*Encadenamiento hacia adelante*
Silvícola	2,2907	3,1396
Madera	5,3168	1,9119
Muebles	2,1608	3,0959
Celulosa y papel	4,7481	2,2630
Media sector forestal	3,6291	2,6026
Media sectorial región del Biobío	3,9734	3,8680

2 Esta información se encuentra agregada en el Banco Central de Chile en los sectores de madera y muebles, agropecuario-silvícola y papel e imprentas. Para el cálculo se utilizan los sectores de madera y muebles, silvícola y papel, desagregándolos con base en el porcentaje de valor agregado de cada sector en la MIP del año 2003.

forestal, a través de su demanda de insumos, es capaz de transmitir más fuertemente los beneficios de cualquier incremento en su demanda final al resto de los sectores de la economía. En la tabla 3 también se observa el encadenamiento hacia adelante, concluyéndose que los sectores que incrementarían más fuertemente su producción ante un aumento en la demanda final de toda la economía serían en orden decreciente, la silvicultura (3,14), muebles (3,10), celulosa y papel (2,26) y la industria de la madera (1,91).

El indicador de encadenamiento hacia atrás también sirve para simular cómo un shock de demanda de un subsector forestal impactaría sobre la producción de toda la economía regional. En la tabla 4 se ilustra que si la demanda final de cada subsector se incrementara en 1% del valor de la producción (segunda columna), las sucesivas rondas de la demanda derivada sobre otros sectores productivos que abastecen al sector inicial generaría que la actividad económica regional se incremente tantas veces como el valor del encadenamiento hacia atrás del sector estimulado (tercera columna). Por ejemplo, si el subsector industria de la madera recibe un shock que aumenta su demanda final en el equivalente a 1% de su producción, es decir, 7 239 millones de pesos, dado que el indicador de encadenamiento hacia atrás presentado en la tabla 3 es de 5,32, la producción regional de todos los sectores aumentaría finalmente en 38 488 millones de pesos (este valor incluye el aumento de 7 239 millones de pesos producto del aumento en la demanda final del sector industria de la madera).

Medidas de dispersión y sectores claves

Con los encadenamientos hacia atrás y adelante, se identifican los sectores industriales que más impactan sobre la economía, pero también es necesario saber cómo los impactos de un sector se distribuyen o dispersan a través de toda la economía. Puede ocurrir el hecho de que un sector tenga un gran multiplicador, pero pocos sectores se vean afectados, existiendo concentración en el multiplicador. Por lo anterior, utilizando el valor del encadenamiento de cada sector, divido por el valor del encadenamiento promedio sectorial hacia atrás ($\pi_j = BL_j / \overline{BL}$) y hacia adelante ($\tau_i = FL_i / \overline{FL}$) se pueden clasificar los sectores, de acuerdo con Schuschny (2005), como estratégicos ($\tau_i \geq 1$ y $\pi_j < 1$), claves ($\tau_i \geq 1$ y $\pi_j \geq 1$), independientes ($\tau_i < 1$ y $\pi_j < 1$) o impulsores ($\tau_i < 1$ y $\pi_j \geq 1$).

Con base en los resultados obtenidos, se puede afirmar que en la región los subsectores de industria de la madera (τ_i=0,54 y π_j=1,58) y celulosa y papel (τ_i=0,64 y π_j=1,31) poseen bajos encadenamientos relativos hacia adelante y altos hacia atrás, por lo que son grandes impulsores de la economía, teniendo una elevada oferta de productos que abastecen a la demanda final. El subsector silvícola (τ_i=1,37 y π_j=0,47) es estratégico

Tabla 4. Impacto total sobre la economía ante un aumento de la demanda sectorial

Sector	*1% de producción (MM$)*	*Impacto en la economía (MM$)*
Silvícola	1 768	4 050
Madera	7 239	38 488
Muebles	1 740	3 760
Celulosa y papel	6 913	32 823

ya que no tiene una gran demanda de insumos, pero abastece sustantivamente de insumos a otros sectores, por lo que de él depende abastecer a los sectores que demandan sus insumos. El subsector de muebles (τ_i=0,58 y π_j=0,45) es un sector independiente, el cual consume pocos insumos intermedios y dedica su producción sustantivamente a satisfacer la demanda final.

Análisis en la distribución de las remuneraciones e ingresos

En la tabla 5 se presentan los impactos sobre las remuneraciones por niveles de calificación ante la simulación de un aumento de 1% de la producción de cada subsector forestal. Este efecto sobre los ingresos laborales (l_j) se calcula como la suma multiplicadores contables del modelo m_{ij} ponderado por la participación del pago al trabajo sobre el valor de la producción del sector i (w_i), es decir, $l_j=\sum w_i \cdot m_{ij}$. Por lo anterior, este indicador representa el incremento en las remuneraciones generado en toda la economía regional luego del shock inicial de demanda en un subsector forestal particular.

Tal como se aprecia en la tabla 5 si ocurre un shock de demanda en el sector de la primera columna equivalente a 1%

Tabla 5. Efecto en las remuneraciones ante un aumento de 1% en la demanda (MM$)

Sector	*Nivel de calificación*	*1% de producción*	*Impacto directo*	*Impacto indirecto*	*Impacto total*
Silvícola	Hombre no calificado	1 768	46	46	91
	Hombre semicalificado	1 768	38	47	85
	Hombre calificado	1 768	33	48	81
	Mujer no calificada	1 768	52	47	99
	Mujer semicalificada	1 768	22	52	74
	Mujer calificada	1 768	17	57	74
Madera	Hombre no calificado	7 239	548	662	1 211
	Hombre semicalificado	7 239	524	666	1 190
	Hombre calificado	7 239	393	631	1 024
	Mujer no calificada	7 239	253	640	893
	Mujer semicalificada	7 239	123	683	806
	Mujer calificada	7 239	84	729	813
Muebles	Hombre no calificado	1 740	61	42	103
	Hombre semicalificado	1 740	37	41	79
	Hombre calificado	1 740	19	40	60
	Mujer no calificada	1 740	-	41	41
	Mujer semicalificada	1 740	17	44	61
	Mujer calificada	1 740	-	46	46
Celulosa y papel	Hombre no calificado	6 913	177	568	745
	Hombre semicalificado	6 913	260	594	854
	Hombre calificado	6 913	408	557	965
	Mujer no calificada	6 913	200	543	742
	Mujer semicalificada	6 913	220	604	823
	Mujer calificada	6 913	137	636	773

de su producción, representado en la tercera columna, para cada tipo de mano de obra (segunda columna) se provocaría un incremento directo sobre las remuneraciones por la mayor contratación en el sector, afectado por el alza inicial de la demanda (cuarta columna). Pero además, este sector demandaría insumos de otros sectores con los que tenga encadenamientos productivos. Esto elevaría, en una segunda ronda, las remuneraciones de los trabajadores de esos sectores. Esta demanda inducida se sigue repitiendo en sucesivas rondas y elevando nuevamente las remuneraciones, hasta que se alcanza la convergencia; por lo que a la suma de estos sucesivos efectos se les define como efectos indirectos (quinta columna), los cuales sumados al efecto directo arrojan el efecto final sobre las remuneraciones. A modo de ejemplo, si aumenta la demanda en la industria de la madera 1% (7 239 millones), la producción debe expandirse al contratar y pagar a la mano de obra no calificada masculina 548 millones de pesos por impacto directo. Pero además, los impactos a través de los encadenamientos productivos sobre el resto de los sectores económicos de la región (que también ven elevadas sus demandas, producciones y contrataciones de mano de obra de forma inducida) elevan adicionalmente el pago de remuneraciones para el nivel no calificado masculino en 662 millones de pesos. Por lo que el efecto total es de 1 211 millones de pesos.

La mayor diferencia entre impactos directos e indirectos ocurre para el subsector de industria de la madera, nivel calificado femenino, que además posee el mayor impacto indirecto. Por otro lado, el mayor impacto directo corresponde al subsector de industria de la madera, nivel no calificado masculino, que además posee el mayor impacto total.

Para analizar los cambios sobre la distribución del ingreso asociados a un shock de demanda se utilizan los multiplicadores contables del modelo m_{ij} (mostrados en la tabla 6), donde el subíndice i representa el quintil de ingreso y el subíndice j representa el sector afectado por un shock de demanda. Al calcular la participación relativa de estos multiplicadores por cada subsector forestal, se obtiene que en la silvicultura la mayor parte de los ingresos generados van al quintil 1 (22,3%) y la menor cantidad van al quintil 5 (17,9%); para la industria de la madera la mayor parte de los ingresos generados van al quintil 4 (20,6%) y la menor cantidad al quintil 1 (19,5%); mientras que para la fabricación de muebles la mayor parte de los ingresos generados van al quintil 1 (22,2%) y la menor cantidad al quintil 5 (17,7%). Por último, para la industria de celulosa y papel, la mayor parte de los ingresos generados van al quintil 5 (22,1%) y la menor cantidad van al quintil 1 (17,6%).

Tabla 6. Multiplicadores contables del modelo para los quintiles de ingreso

Sector	*Quintil 1*	*Quintil 2*	*Quintil 3*	*Quintil 4*	*Quintil 5*
Silvícola	0 048	0 047	0 045	0 044	0 043
Madera	0 150	0 151	0 154	0 158	0 155
Muebles	0 045	0 044	0 041	0 039	0 036
Celulosa y papel	0 113	0 120	0 130	0 138	0 142

Análisis de impactos ambientales

En la tabla 7 se presenta el efecto, según las emisiones en miles de toneladas, de un aumento de 1% en la demanda final de cada uno de los subsectores forestales de la región del Biobío. El efecto directo se produce por el incremento de las emisiones necesarias para elevar la producción ante el shock de demanda, pero el efecto indirecto se genera por el incremento en la actividad y emisiones inducidas en el resto de los sectores económicos de la región.

A pesar de que los subsectores silvícola y fabricación de muebles casi no generan emisiones directamente, por el efecto indirecto que estimula la demanda sobre el resto de los sectores económicos, eleva sus emisiones totales. Se observa también que aún cuando la industria maderera genera directamente mucho menos emisiones que la industria de celulosa y papel, tal como se podía esperar, la emisiones indirectas generadas por los otros sectores estimulados a través de la demanda de insumos (por ejemplo transporte, energía, entre otros) luego del shock de demanda inicial, hace finalmente que sean bastante semejantes las emisiones totales al aire de ambos sectores.

DISCUSIÓN

Los resultados generados a partir de la metodología empleada aportan información valiosa sobre las interrelaciones del sector forestal con el resto de la economía, la distribución de los ingresos y el medioambiente en la región. De esa forma es que se pueden entender los canales que transmiten los shocks económicos asociados a la actividad forestal y, además, su compresión ayuda al diseño de políticas económicas que afecten a este sector y su repercusión en los distintos componentes del desarrollo económico. Por ejemplo, políticas públicas de fomento para la adquisición de muebles ayuda a mejorar la distribución del ingreso y genera poca contaminación en términos directos e indirectos, pero difícilmente genera círculos virtuosos de crecimiento en otros sectores, dado su escaso encadenamiento productivo. La continuación de políticas de fomento a las plantaciones forestales, tal como las que actualmente existen en Chile, a pesar de no generar mejoras sustantivas en el PIB, contribuyen estratégicamente para que se desarrollen otros sectores como la industria de la madera y la industria de la celulosa y papel.

En esta línea de análisis, la caracterización del sector forestal realizada en este estudio puede ayudar a entender las dinámicas económicas en otras regiones y países, por lo que a continuación se presenta una breve discusión de cada subsector forestal.

El sector silvícola tiene una participación en el PIB regional de 1,6%, su producción se dirige principalmente a uso intermedio, por lo que es un sector estratégico. Si su demanda aumenta en 1%, sería el penúltimo subsector forestal en tener un impacto en la economía por encadenamientos hacia atrás y hacia delante, pero además produciría la segunda menor desigualdad en la distribución de los ingresos generados según quintiles. También es el sector que más aporta en términos relativos a la equidad de género con las remuneraciones de la mano de obra no calificada, aunque con montos no muy significativos. Las emisiones directas al aire y agua son marginales, pero las indirectas son relevantes y muy similares a las generadas por la fabricación de muebles.

Tabla 7. Emisiones en toneladas frente a un aumento de 1% en la demanda

Sector	*Efectos*	*Contaminantes al aire*		*Contaminantes al agua (Toneladas)*					*(Toneladas)*		
		MP10	*CO*	*CO_2*	*NOx*	*COV*	*SOx*	*NH3*	*Aceites y grasas*	*Cloruros*	*Sulfatos*
Silvicultura	Efecto directo	0,03	0,07	0	0,01	0	0,01	0,01	0	0	0
	Efecto indirecto	2,44	3,74	111,1	1,64	0,44	6	0,25	0,33	0,07	0,22
	Efecto total	2,47	3,81	111,1	1,65	0,44	6,01	0,26	0,33	0,07	0,22
Madera	Efecto directo	3,38	7,05	2,33	1,48	0,12	2,11	1,19	0,24	0,11	1,7
	Efecto indirecto	46,6	66,0	2001	26,8	8,07	83,0	3,56	4,45	1,13	3,56
	Efecto total	50,0	73	2004	28,2	8,19	85,1	4,75	4,69	1,24	5,26
Muebles	Efecto directo	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0
	Efecto indirecto	2,78	3,5	104,6	1,56	0,42	5,77	0,24	0,29	0,07	0,23
	Efecto total	2,78	3,5	104,6	1,56	0,42	5,78	0,24	0,29	0,07	0,23
Celulosa	Efecto directo	2,01	3,83	1020	3,03	0,02	7,62	0,04	0,51	18,54	64,8
	Efecto indirecto	44,2	60,3	2004	22,2	7,91	52,9	2,74	2,74	1,56	5,08
	Efecto total	46,2	64,1	3024	25,3	7,93	60,5	2,78	3,25	20,1	69,9

El sector de la industria de la madera tiene una participación en el PIB regional de 7,3%, su producción se dirige en gran medida a la demanda final. Tiene el mayor impacto en la economía por encadenamientos hacia atrás y el último por encadenamientos hacia adelante. También es un gran impulsor de la economía con productos que abastecen a la demanda final. Por otro lado, posee el mayor impacto sobre las remuneraciones para todos los niveles de calificación, generando la segunda mayor desigualdad en la distribución de los ingresos por quintiles, pero incrementa de forma importante las brechas de las remuneraciones por género. Tiene las mayores emisiones totales de MP_{10}, CO, NO_x, SO_x, y NH_3, aceites y grasas, ante un aumento de 1% en su demanda.

La industria de la celulosa y papel tiene una participación en el PIB regional de 6,6%. Es el segundo subsector con mayor impacto en la economía por encadenamientos hacia atrás y el penúltimo por encadenamientos hacia delante. Es un gran impulsor de la economía al abastecer a la demanda final. Además, ante un shock de demanda, el ingreso distribuido al quintil 5 representa 1,3 veces el ingreso del quintil 1, generando la mayor desigualdad entre hogares, aunque los aportes a las remuneraciones de la mano de obra femenina son significativas. Este subsector tiene las mayores emisiones totales de CO_2, cloruros y sulfatos y el segundo lugar en otros contaminantes ante un aumento de 1% en la demanda.

El subsector de fabricación de muebles tiene una participación en el PIB regional de 1,8%. Es el subsector que tendría un impacto menor en la economía por encadenamientos hacia atrás, pero el segundo por encadenamientos hacia delante. El subsector de fabricación de muebles consume pocos insumos intermedios y dedica su producción sustantivamente a satisfacer la demanda final, por lo que es un sector estratégico. Además, ante un shock de demanda genera la mejor distribución del ingreso, pero aporta negativamente en términos relativos a la equidad de género con las remuneraciones de la mano de obra no calificada, aunque con montos no muy significativos. Tiene las menores emisiones totales de CO, CO_2, NO_x, COV, SO_x y NH_3, en relación con los contaminantes al agua, tiene las menores emisiones de aceites y grasas y cloruros, ante un aumento de 1% de la demanda.

Como discusión final se plantea que la modelación utilizada está especialmente orientada a la evaluación de corto y mediano plazo, dado que en este lapso la estructura productiva es relativamente constante, por lo cual los supuestos son válidos. Sin embargo, si se quisiera estudiar la relación dinámica entre el crecimiento, ingreso de los hogares y emisiones contaminantes, se requeriría la utilización de herramientas más sofisticadas como un modelo regional de equilibrio general computable.[3]

CONCLUSIONES

Este estudio muestra la utilidad de contar con información regional actualizada para el análisis de distintos sectores económicos y su contribución hacia los distintos componentes del desarrollo económico. Específicamente, si la autoridad de gobierno cuenta con herramientas como las matrices de contabilidad social extendidas ambientalmente para aplicar

3 Para una revisión de la literatura ver Partridge y Rickman (2010), y para una aplicación en la región del Biobío ver Mardones (2012).

modelos económicos multisectoriales, en función de las prioridades o ponderaciones sobre el crecimiento, distribución del ingreso y medioambiente, será posible el fomento de ciertos sectores en función de sus preferencias u objetivos de políticas.

En el caso de estudio cada uno de los cuatro subsectores forestales generan distintas contribuciones al crecimiento económico regional, a la distribución del ingreso y a la contaminación ambiental, pero lo más importante es que se ha podido cuantificar la importancia de cada uno de estos aportes a la economía de la región del Biobío.

REFERENCIAS

Alarcón, J., J. van Heemst y N. de Jong. 2000. Extending the SAM with social and environmental indicators: An Application to Bolivia. Economic Systems Research 12(4):473-496.

Batey, P.W.J. y M.J. Weeks. 1987. An extended input-output model incorporating employed, unemployed, and inmigrant households. Papers of the Regional Science Association 62:93-115.

Cumberland, J. 1966. A regional interindustry model for analysis of development objectives. Papers and Proceedings, Regional Science Association 17:65-94.

Fofana, I., A. Lemelin y J. Cockburn. 2002. Balancing a social accounting matrix. Centre de Recherche en Économie et Finances Appliquées (CREFA) Université Laval, October 2002.

González, A. R., G. A. Matus y G. M. González. 2008. Efecto de las políticas económicas en los recursos naturales y el medio ambiente en México. Agrociencia 42(7):847-855.

James, J. y H.A. Khan. 1993. The employment effects of an income redistribution in developing countries. World Development 21(5):817-827.

Lenzen, M. y R. Schaffer. 2004. Environmental and social accounting for Brazil. Environmental and Resource Economics 27:201-226.

Mardones, C. y J. Saavedra. 2011. Matriz de contabilidad social extendida ambientalmente para análisis económico de la región del Biobío. Revista de Análisis Económico 26(1):17-51.

Mardones, C. 2012. Chile: building a computable general equilibrium model with an application to the Biobío region. CEPAL Review 106:125-150.

Morilla, C.R., G. Llanes. y M. A. Cardenete. 2005. Estimación y actualización anual de matrices de contabilidad social: aplicación a la economía española para los años 1995 y 1998. Estadística Española 47(159):353-416.

Partridge, M. y D. Rickman. 2010. Computable general equilibrium (CGE) modelling for regional economic development analysis. Regional Studies 44(10):1311-1328.

Pieters, J. 2010. Growth and inequality in India: analysis of an extended social accounting matrix. World Development 38(3):270-81.

Pyatt G. y J. Round. 1979. Accountig and fixed price multipliers in a social accounting matrix framework. The Economic Journal 89:850-873.

Schuschny, A. 2005. Tópicos sobre el Modelo de Insumo-Producto: teoría y aplicaciones. CEPAL, Serie Estudios Estadísticos y Prospectivos 37:1-96.

Vos, R y N. Jong. 2003. Trade Liberalization and Poverty in Ecuador: a CGE Macro-microsimulation Analysis. Economic Systems Research (15):211-232.

Xie, J. 2000. An environmentally extended social accounting matrix. Environmental & Resource Economics 16(4):391-406.

Manuscrito recibido el 13 de marzo de 2012.
Aceptado el 1 de agosto de 2012.

Este documento se debe citar como:
Mardones P., C. y A. Gallardo A. Contribución de la industria forestal al desarrollo económico de la región del Biobío, Chile. *Madera y Bosques* 18(2):27-50.

APÉNDICE A.
DESAGREGACIÓN Y BALANCEO DE LA SAM

Para poder desagregar una SAM, cuando no se dispone de esta información a nivel regional, una opción es obtener la información de la Matriz Insumo Producto (MIP) de Chile y/o utilizar información regional no conciliada que proviene de diversas encuestas como la ENIA, CASEN, entre otras. Bajo la primera limitación se considera el supuesto de que la estructura productiva regional utiliza la misma intensidad de uso de insumos que a nivel nacional, para analizar cómo opera este supuesto se presenta un extracto de la MIP de Chile 2003 (la cual posee un grado de desagregación de 73 sectores económicos) en el cuadrante de utilización intermedia total.

Tabla A1. Extracto de la Matriz Insumo Producto de Chile, 2003

		Agropecuario ($)			*Silvícola ($)*
		Agricultura	*Fruticultura*	*Ganadería*	*Silvicultura*
Agropecuario	Agricultura	46 433	3 742	137 429	2 550
			2		787
	Ganadería	24	3 543	15 553	2 022
Silvícola		3	92	1 578	296 318

FUENTE: MIP 2003. Cantidades en millones de pesos de 2003.

A continuación se presentan los porcentajes de las relaciones entre estas cuentas agregadas.

Tabla A2. Participación de cuentas agregadas

	Agropecuario (%)	*Silvicultura (%)*
Agropecuario	40,52%	1,05%
Silvicultura	0,32%	58,09%

Estos porcentajes se utilizan para desagregar la SAM del año 2006 para la región del Biobío. En la SAM Regional del año 2006 de Mardones y Saavedra (2011), el sector agropecuario-silvícola compró insumos al sector agropecuario-silvícola por 44 635 millones de pesos, pero para el presente estudio se necesitó desagregar ese valor en el sector agropecuario y en el sector silvícola. A continuación se presenta este valor desagregado utilizando los porcentajes expuestos anteriormente.

Tabla A3. Participación de cuentas agregadas

	Agropecuario ($)	*Silvicultura ($)*
Agropecuario	18 089	469
Silvicultura	146	25 929

Así, se ha desagregado el sector agropecuario y silvícola en la nueva SAM. Este procedimiento se utiliza iterativamente en el resto de las cuentas relacionadas con el sector agropecuario y luego para el sector silvícola con cada una las restantes cuentas de la matriz.

Otras cuentas de la SAM original que fueron desagregadas fue el sector de madera y muebles, electricidad-gas-agua, así como también el factor trabajo que se desagregó por género y nivel de calificación con base en la encuesta CASEN 2006.[4]

La SAM, luego de su desagregación, necesita que los flujos de ingresos sean iguales a los gastos, por lo que requiere ser balanceada (igualdad de los totales fila y columna). Como solución a los problemas planteados anteriormente, se necesita conocer la matriz cuadrada T de transacciones de la SAM, donde sus celdas tij satisfacen lo siguiente:

$$t_{.j} = \sum_i t_{ij} \qquad \text{(A1)}$$

Luego se obtiene una matriz A de coeficientes técnicos, a partir de la matriz T, cumpliendo cada celda la siguiente restricción:

$$a_{ij} = {t_{ij}}/{t_{.j}} \qquad \text{(A2)}$$

El método de minimización de distancias o *crossentropy* parte de una SAM existente, para luego encontrar una nueva SAM, muy cercana a la inicial, por medio de la minimización de la distancia de entropía cruzada entre ellas, respetando todas las restricciones. En el caso del balanceo, la restricción es que el total fila sea igual al total columna. A continuación se presenta el problema de minimización expuesto por Fofana *et al.* (2002):

$$\min_{\{t^1\}} H = \sum_i \sum_j t^1_{ij} \ln \frac{t^1_{ij}}{t^0_{ij}} = \sum_i \sum_j t^1_{ij} \ln t^1_{ij} - \sum_i \sum_j t^1_{ij} \ln t^0_{ij} \qquad \text{(A3)}$$

Sujeto a:

$$\sum_j t^1_{ij} X_j = X_i \qquad \text{(A4)}$$

$$\sum_j t^1_{ij} = 1 \qquad \text{(A5)}$$

Donde t^1_{ij} es un nuevo valor de la celda *ij* y $0 \le t^1_{ij} \le 1$. Tanto más cercano esté el valor al valor inicial, la expresión $\ln \frac{t^1_{ij}}{t^0_{ij}}$ va a tender a 0, minimizado *H*.

4 Se utilizó la siguiente desagregación en la CASEN 2006: No calificado: sin educación formal, básica incompleta, básica completa. Semi-calificado: media humanista incompleta, media técnico profesional incompleta, media humanista completa y medio técnico completo. Calificado: técnica o universitaria incompleta y técnica o universitaria completa. Lo mismo se ocupa para los otros subsectores.

APÉNDICE B.
REPRESENTACIÓN DE LA SAM AGREGADA DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO
AÑO 2006, EN MILLONES DE PESOS

Tabla B1. Abreviaturas usadas en SAM agregada y la matriz de multiplicadores

	Actividades primarias (prim)	*agro*	*Agropecuario*
		pesca	*Pesca*
		miner	*Minería*
Actividades Productivas			
	Bienes (bienes)	alimen	Alimentos, bebidas y tabaco
		textil	Textil, prendas de vestir y cuero
		quimic	Química, petróleo, caucho y plástico
		nomet	Fab.de productos minerales no metálicos
		metbas	Metálica básica
		metmec	Productos metálicos, maquinaria y equipos
		rindus	Resto industria
		elec	Electricidad
		gas	Gas
		agua	Agua
		constr	Construcción
	Comercio y servicios (comyss)	comer	Comercio, restaurantes y hoteles
		transp	Transporte
		comun	Comunicaciones
		ssfin	Servicios financieros y empresariales
		srvprop	Servicios personales y propiedad de vivienda
		admpub	Administración pública
	Silvicultura	silv	Silvícola
	Madera	mader	Madera
	Celulosa y papel	celul	Celulosa y papel
	Muebles	mueble	Muebles
Factor Capital	cap		Factor Capital
Factor Trabajo	nocalif-hom		Personal no calificado masculino
	secalif-hom		Personal semi-calificado masculino
	calif-hom		Personal calificado masculino
	nocalif-muj		Personal no calificado femenino
	secalif-muj		Personal semi-calificado femenino
	calif-muj		Personal calificado femenino
Hogares	q1		Quintil 1
	q2		Quintil 2
	q3		Quintil 3
	q4		Quintil 4
	q5		Quintil 5
Impuestos	instax		Impuesto directo a la renta
	acttax		Impuestos indirectos a actividades
	vatax		Impuesto al valor agregado
	imptax		Aranceles de importación

Tabla B2. Representación de la Micro SAM agregada de la región del Biobío año 2006, en millones de pesos. [Parte 1 de 4]

		Actividades Productivas							Commodities							Margenes
		aprim	abienes	acomyss	asilv	amader	acelul	amueble	cprim	cbienes	ccomyss	csilv	cmader	ccelul	cmueble	Comerciales
Act. Produc.	aprim								1.110.170							
	abienes									3.077.229						
	acomyss										5.854.063					
	asilv											182.458				
	amader												740.199			
	acelul													723.992		
	amueble														200.494	
Commodities	cprim	246.626	620.287	199.125	7.387	9.610	8.043	8.109								
	cbienes	245.171	601.246	1.095.805	28.669	66.390	89.186	48.669								
	ccomyss	205.485	571.773	1.433.181	40.666	161.225	182.179	34.396								763.155
	csilv	4.688	18.376	7.211	15.643	63.640	35.139	3.218								
	cmader	15.042	37.262	82.653	2.925	33.661	19.987	5.204								
	ccelul	17.828	39.817	125.271	2.676	13.452	35.980	3.419								
	cmueble	2.858	21.954	26.845	2.660	2.521	2.642	2.960								
Márgenes Comerc.									79.028	616.773	7.024	6.155	12.870	23.750	17.555	
Factor Capital		182.999	588.402	1.374.161	36.101	263.468	241.913	34.293								
Factor Trabajo	nocalif-hom	59.517	56.523	170.659	8.857	25.928	8.777	11.929								
	secalif-hom	55.862	147.878	377.597	14.805	49.705	25.830	14.649								
	calif-hom	19.511	76.959	286.501	8.366	24.281	26.387	4.993								
	nocalif-muj	6.081	17.959	47.228	2.328	2.747	2.271	0								
	secalif-muj	5.970	35.732	170.419	2.859	3.886	7.250	2.197								
	calif-muj	7.258	27.708	242.071	2.823	3.361	5.710	0								
Hogares	q1															
	q2															
	q3															
	q4															
	q5															
Gobierno																
Impuestos	instax															
	acttax	8.513	28.698	58.770	1.972	5.770	4.504	2.015								
	vatax	26.761	186.656	156.568	3.720	10.554	28.193	24.443								
	imptax								2.093	10.680	4.650	2.848	1.104	1.916	1.228	
Resto del Mundo									25.008	257.584	161.114	5.941	5.685	8.036	5.720	
Resto del Pais									402.129	933.405	491.348	33.123	18.474	39.778	6.752	
Ahorro e Inversion																
Variac. Existencias																
Total		1.110.170	3.077.229	5.854.063	182.458	740.199	723.992	200.494	1.618.428	4.895.672	6.518.199	230.525	778.332	797.472	231.749	763.155

Tabla B2 (Continuación).
Representación de la Micro SAM agregada de la región del Biobío año 2006, en millones de pesos. [Parte 2 de 4]

		Factor	Factor Trabajo						Hogares				
		Capital	nocalif-hom	secalif-hom	calif-hom	nocalif-muj	secalif-muj	calif-muj	q1	q2	q3	q4	q5
Act. Produc.	aprim												
	abienes												
	acomyss												
	asilv												
	amader												
	acelul												
	amueble												
Commodities	cprim								44.697	54.751	53.543	56.134	56.866
	cbienes								145.495	179.400	180.139	209.703	255.599
	ccomyss								146.436	205.857	249.527	335.369	629.083
	csilv								5.936	4.660	3.963	3.923	3.479
	cmader								3.089	3.015	2.931	3.009	2.929
	ccelul								3.581	4.334	4.620	5.798	7.121
	cmueble								6.040	7.377	8.107	11.688	12.653
Márgenes Comerc.													
Factor Capital													
Factor Trabajo	nocalif-hom												
	secalif-hom												
	calif-hom												
	nocalif-muj												
	secalif-muj												
	calif-muj												
Hogares	q1		82.540	61.394	5.655	14.414	20.699	4.193	83.011	54.679			
	q2		92.163	127.708	18.032	17.712	36.394	12.672		46.290	53.861		25.628
	q3	70.298	70.687	129.451	34.587	15.333	46.502	30.112				37.681	34.555
	q4	197.125	55.517	162.928	68.177	10.834	52.536	69.974					
	q5	401.471	41.284	204.843	320.547	20.320	72.184	171.979					
Gobierno		222.794											
Impuestos	instax								3.102	3.013	3.167	5.002	89.821
	acttax												
	vatax												
	imptax												
Resto del Mundo													
Resto del Pais		1.829.648											
Ahorro e Inversion									-107.840	-128.012	-86.858	-47.818	118.123
Variac. Existencias													
Total		2.721.337	342.191	686.324	446.999	78.614	228.314	288.931	333.545	435.364	473.000	620.489	1.235.857

Tabla B2 (Continuación).
Representación de la Micro SAM agregada de la región del Biobío año 2006, en millones de pesos. [Parte 3 de 4]

		Gobierno	Impuestos				Resto del Mundo	Resto del País	Ahorro e Inversión	Variación de existencias	Total
			instax	acttax	vatax	imptax					
Act. Produc.	aprim										1.110.170
	abienes										3.077.229
	acomyss										5.854.063
	asilv										182.458
	amader										740.199
	acelul										723.992
	amueble										200.494
Commodities	cprim						29.052	166.094	32.440	25.664	1.618.428
	cbienes						621.763	693.024	410.798	24.616	4.895.672
	ccomyss	817.972					18.089	243.045	480.761	0	6.518.199
	csilv						13.966	34.748	11.935	0	230.525
	cmader						560.252	6.373	0	0	778.332
	ccelul						422.871	94.692	6.768	9.245	797.472
	cmueble						7.894	97.411	18.139	0	231.749
Márgenes Comerc.											763.155
Factor Capital											2.721.337
Factor Trabajo	nocalif-hom										342.191
	secalif-hom										686.324
	calif-hom										446.999
	nocalif-muj										78.614
	secalif-muj										228.314
	calif-muj										288.931
Hogares	q1	6.959									333.545
	q2	4.903									435.364
	q3	3.794									473.000
	q4	3.398									620.489
	q5	3.229									1.235.857
Gobierno			104.105	110.242	436.895	24.519					898.556
Impuestos	instax										104.105
	acttax										110.242
	vatax										436.895
	imptax										24.519
Resto del Mundo											469.088
Resto del País											3.754.658
Ahorro e Inversi´0n		58.301					-1.204.799	2.419.271			1.020.367
Variac. Existencias									59.525		59.525
Total		898.556	104.105	110.242	436.895	24.519	469.088	3.754.658	1.020.367	59.525	

Tabla B2 (Continuación).
Representación de la Micro SAM agregada de la región del Biobío año 2006, en millones de pesos. [Parte 4 de 4]

		Emisiones al aire en toneladas							Emisiones al agua en toneladas		
		MP10	CO	CO2	NOx	COV	SOx	NH3	Aceites y grasas	Cloruros	Sulfatos
Act. Produc.	aprim	2,911	7,400	3964,407	12,623	0,654	15,182	0,996	0,000	0,000	0,000
	abienes	1020,197	1556,162	84925,974	1688,687	217,219	13970,899	597,817	540,591	145,420	12,750
	acomyss	17952,585	29954,928	988799,205	8556,697	4262,365	3330,363	331,939	9,820	61,300	82,250
	asilv	3,141	7,369	0	1,027	0,12	0,798	1,18	0	0	0
	amader	337,543771	704,809	232,682	148,1614	12,114	211,0963	118,584	24,26	10,59	170,44
	acelul	201,26221	383,1614	102043,891	303,3111	1,996	761,8623	3,514	51,07	1853,96	6476,85
	amueble	0,03423481	0,032549	0	0,234699	0	0,677049	0	0	0	0
Commodities	cprim										
	cbienes										
	ccomyss										
	csilv										
	cmader										
	ccelul										
	cmueble										
Márgenes Comerc.											
Factor Capital											
Factor Trabajo	nocalif-hom										
	secalif-hom										
	calif-hom										
	nocalif-muj										
	secalif-muj										
	calif-muj										
Hogares	q1										
	q2										
	q3										
	q4										
	q5										
Gobierno											
Impuestos	instax										
	acttax										
	vatax										
	imptax										
Resto del Mundo											
Resto del País											
Ahorro e Inversión											
Variac. Existencias											
Total		19517,674	32613,862	1179966,159	10710,741	4494,468	18290,878	1054,030	625,741	2071,270	6742,290

APÉNDICE C. MULTIPLICADORES DEL MODELO ECONÓMICO

Tabla C1. Matriz de multiplicadores de la SAM región del Biobío año 2006
[Parte 1 de 2]

	cagro	csilv	cpesca	cminer	calimen	ctextil	cmader	cmueble	ccelul	cquimic	cnomet	cmetbas	cmetmec	crindus	celec	cgas	cagua	cconstr	ccomer
cagro	1,112	0,041	0,105	0,021	0,394	0,049	0,116	0,036	0,093	0,098	0,045	0,057	0,041	0,014	0,051	0,007	0,022	0,153	0,237
csilv	0,033	1,086	0,045	0,026	0,052	0,019	0,352	0,030	0,215	0,074	0,037	0,049	0,040	0,009	0,024	0,004	0,010	0,090	0,091
cpesca	0,066	0,015	1,605	0,009	0,143	0,014	0,046	0,012	0,040	0,039	0,017	0,025	0,018	0,006	0,023	0,003	0,009	0,060	0,147
cminer	0,076	0,028	0,090	1,027	0,102	0,042	0,090	0,031	0,093	0,779	0,058	0,097	0,048	0,014	0,071	0,009	0,020	0,154	0,175
calimen	0,076	0,027	0,078	0,015	1,155	0,029	0,086	0,024	0,076	0,076	0,035	0,042	0,030	0,010	0,043	0,006	0,020	0,114	0,176
ctextil	0,076	0,045	0,106	0,036	0,125	1,085	0,114	0,048	0,116	0,096	0,054	0,058	0,058	0,028	0,068	0,011	0,027	0,161	0,211
cmader	0,024	0,010	0,034	0,005	0,035	0,012	1,067	0,013	0,047	0,027	0,016	0,020	0,017	0,010	0,020	0,002	0,007	0,062	0,071
cmueble	0,035	0,028	0,060	0,012	0,065	0,036	0,068	1,028	0,062	0,062	0,032	0,049	0,036	0,015	0,026	0,004	0,011	0,095	0,107
ccelul	0,028	0,013	0,038	0,014	0,047	0,019	0,050	0,013	1,076	0,044	0,020	0,028	0,014	0,005	0,023	0,005	0,011	0,052	0,094
cquimic	0,070	0,022	0,076	0,016	0,085	0,032	0,078	0,022	0,079	1,089	0,030	0,047	0,031	0,012	0,035	0,006	0,016	0,111	0,160
cnomet	0,068	0,030	0,082	0,032	0,099	0,026	0,100	0,059	0,066	0,099	1,098	0,070	0,055	0,030	0,060	0,012	0,023	0,343	0,181
cmetbas	0,051	0,022	0,098	0,026	0,082	0,035	0,062	0,034	0,086	0,085	0,039	1,152	0,106	0,023	0,048	0,011	0,017	0,233	0,159
cmetmec	0,054	0,024	0,079	0,027	0,083	0,034	0,078	0,024	0,086	0,083	0,041	0,062	1,050	0,022	0,056	0,007	0,016	0,135	0,167
crindus	0,094	0,042	0,166	0,054	0,145	0,070	0,140	0,038	0,084	0,100	0,079	0,053	0,038	1,015	0,085	0,007	0,032	0,169	0,240
celec	0,057	0,025	0,105	0,035	0,115	0,047	0,130	0,033	0,137	0,129	0,055	0,101	0,060	0,027	1,148	0,011	0,024	0,142	0,251
cgas	0,087	0,040	0,097	0,026	0,137	0,036	0,169	0,036	0,116	0,132	0,047	0,074	0,053	0,017	0,085	1,010	0,027	0,199	0,257
cagua	0,059	0,027	0,094	0,030	0,109	0,041	0,106	0,040	0,096	0,101	0,047	0,067	0,052	0,026	0,058	0,015	1,030	0,155	0,189
cconstr	0,037	0,014	0,048	0,009	0,056	0,027	0,055	0,014	0,052	0,050	0,030	0,038	0,032	0,019	0,026	0,005	0,022	1,066	0,099
ccomer	0,041	0,016	0,052	0,019	0,062	0,025	0,059	0,017	0,061	0,060	0,028	0,039	0,031	0,016	0,033	0,006	0,013	0,076	1,116
ctransp	0,083	0,038	0,100	0,030	0,130	0,040	0,172	0,035	0,177	0,120	0,050	0,076	0,053	0,016	0,062	0,012	0,024	0,156	0,362
ccomun	0,095	0,043	0,120	0,042	0,146	0,054	0,144	0,043	0,132	0,137	0,063	0,092	0,070	0,017	0,077	0,015	0,034	0,183	0,273
cssfin	0,091	0,043	0,110	0,032	0,128	0,045	0,143	0,036	0,132	0,121	0,052	0,095	0,061	0,025	0,079	0,010	0,027	0,175	0,341
csrvprop	0,049	0,023	0,060	0,019	0,079	0,025	0,082	0,022	0,072	0,072	0,032	0,046	0,034	0,014	0,040	0,007	0,017	0,098	0,132
cadmpub	0,029	0,038	0,017	0,006	0,025	0,007	0,032	0,006	0,026	0,020	0,009	0,013	0,010	0,003	0,010	0,002	0,004	0,027	0,099
cap	0,103	0,038	0,098	0,022	0,192	0,036	0,189	0,037	0,176	0,144	0,049	0,080	0,050	0,016	0,100	0,011	0,032	0,172	0,222
nocalif-hom	0,159	0,052	0,151	0,037	0,164	0,040	0,167	0,059	0,108	0,116	0,063	0,071	0,059	0,023	0,077	0,007	0,035	0,310	0,225
secalif-hom	0,095	0,048	0,114	0,032	0,149	0,037	0,164	0,045	0,124	0,144	0,051	0,102	0,065	0,019	0,075	0,012	0,028	0,235	0,253
calif-hom	0,075	0,046	0,088	0,026	0,127	0,034	0,141	0,034	0,140	0,122	0,050	0,090	0,066	0,015	0,062	0,012	0,033	0,188	0,235
nocalif-muj	0,077	0,056	0,122	0,040	0,226	0,060	0,123	0,023	0,107	0,084	0,061	0,046	0,057	0,033	0,041	0,006	0,017	0,132	0,415
secalif-muj	0,071	0,042	0,095	0,022	0,153	0,058	0,111	0,035	0,119	0,109	0,050	0,068	0,057	0,016	0,058	0,014	0,030	0,143	0,360
calif-muj	0,073	0,042	0,089	0,030	0,118	0,043	0,112	0,026	0,112	0,110	0,048	0,079	0,061	0,017	0,062	0,013	0,031	0,153	0,255
q1	0,112	0,048	0,121	0,032	0,155	0,041	0,150	0,045	0,113	0,119	0,055	0,078	0,059	0,020	0,069	0,009	0,029	0,235	0,256
q2	0,104	0,047	0,116	0,031	0,154	0,041	0,151	0,044	0,120	0,124	0,054	0,083	0,060	0,020	0,070	0,010	0,030	0,225	0,260
q3	0,099	0,045	0,109	0,029	0,157	0,040	0,154	0,041	0,130	0,127	0,052	0,083	0,059	0,018	0,074	0,011	0,030	0,207	0,256
q4	0,096	0,044	0,105	0,028	0,159	0,039	0,158	0,039	0,138	0,131	0,051	0,084	0,058	0,018	0,078	0,011	0,030	0,196	0,249
q5	0,090	0,043	0,099	0,027	0,155	0,038	0,155	0,036	0,142	0,129	0,050	0,085	0,059	0,017	0,076	0,012	0,031	0,186	0,246

Tabla C1 (Continuación). Matriz de multiplicadores de la SAM región del Biobío año 2006 [Parte 2 de 2]

	ctransp	ccomun	cssfin	csrvprop	cadmpub	cap	nocalif-hom	secalif-hom	calif-hom	nocalif-muj	secalif-muj	calif-muj	q1	q2	q3	q4	q5
cagro	0,129	0,044	0,147	0,198	0,101	0,183	0,149	0,252	0,119	0,031	0,083	0,082	0,179	0,222	0,198	0,208	0,269
csilv	0,046	0,022	0,061	0,072	0,036	0,055	0,048	0,078	0,037	0,010	0,026	0,025	0,067	0,068	0,058	0,062	0,084
cpesca	0,048	0,021	0,096	0,116	0,070	0,077	0,058	0,101	0,051	0,012	0,033	0,034	0,070	0,083	0,078	0,085	0,119
cminer	0,129	0,032	0,103	0,123	0,052	0,090	0,060	0,108	0,059	0,013	0,036	0,040	0,066	0,084	0,081	0,095	0,148
calimen	0,088	0,032	0,105	0,139	0,068	0,135	0,115	0,191	0,088	0,024	0,063	0,061	0,143	0,172	0,151	0,156	0,194
ctextil	0,128	0,044	0,157	0,193	0,098	0,188	0,122	0,224	0,123	0,027	0,074	0,082	0,131	0,172	0,168	0,201	0,305
cmader	0,026	0,019	0,036	0,040	0,021	0,027	0,019	0,034	0,018	0,004	0,011	0,012	0,023	0,028	0,026	0,029	0,042
cmueble	0,085	0,033	0,074	0,105	0,058	0,093	0,062	0,113	0,060	0,013	0,037	0,041	0,069	0,087	0,084	0,106	0,144
ccelul	0,046	0,025	0,086	0,067	0,033	0,042	0,028	0,051	0,028	0,006	0,017	0,019	0,031	0,039	0,038	0,044	0,069
cquimic	0,151	0,030	0,087	0,108	0,049	0,091	0,059	0,108	0,060	0,013	0,036	0,040	0,063	0,082	0,080	0,096	0,151
cnomet	0,101	0,056	0,106	0,136	0,073	0,093	0,064	0,114	0,061	0,014	0,037	0,041	0,073	0,090	0,084	0,100	0,149
cmetbas	0,084	0,042	0,087	0,101	0,055	0,062	0,041	0,075	0,041	0,009	0,025	0,027	0,046	0,058	0,056	0,065	0,101
cmetmec	0,100	0,045	0,100	0,122	0,062	0,096	0,064	0,116	0,063	0,014	0,038	0,042	0,071	0,091	0,087	0,102	0,157
crindus	0,142	0,083	0,157	0,195	0,116	0,132	0,089	0,160	0,087	0,019	0,053	0,058	0,102	0,126	0,118	0,138	0,218
celec	0,120	0,058	0,134	0,161	0,090	0,127	0,098	0,168	0,083	0,021	0,055	0,057	0,121	0,142	0,128	0,139	0,195
cgas	0,136	0,056	0,161	0,246	0,119	0,264	0,196	0,341	0,172	0,042	0,112	0,117	0,233	0,283	0,257	0,296	0,405
cagua	0,111	0,054	0,127	0,173	0,094	0,146	0,121	0,202	0,096	0,025	0,066	0,066	0,158	0,177	0,155	0,160	0,221
cconstr	0,056	0,034	0,066	0,109	0,043	0,045	0,029	0,053	0,029	0,006	0,017	0,020	0,032	0,040	0,039	0,046	0,074
ccomer	0,071	0,033	0,073	0,091	0,047	0,080	0,049	0,092	0,053	0,011	0,030	0,035	0,051	0,067	0,067	0,081	0,138
ctransp	1,137	0,057	0,161	0,195	0,092	0,214	0,118	0,231	0,142	0,027	0,077	0,093	0,110	0,161	0,165	0,212	0,377
ccomun	0,161	1,114	0,194	0,224	0,110	0,203	0,133	0,243	0,132	0,029	0,080	0,089	0,141	0,186	0,187	0,221	0,323
cssfin	0,130	0,067	1,178	0,197	0,099	0,157	0,096	0,179	0,104	0,021	0,059	0,069	0,104	0,131	0,130	0,154	0,272
csrvprop	0,076	0,037	0,100	1,138	0,065	0,145	0,073	0,148	0,097	0,017	0,049	0,063	0,069	0,091	0,105	0,136	0,267
cadmpub	0,065	0,047	0,026	0,073	1,016	0,031	0,019	0,036	0,021	0,004	0,012	0,014	0,020	0,026	0,027	0,032	0,053
cap	0,154	0,060	0,155	0,295	0,074	1,110	0,072	0,131	0,073	0,016	0,043	0,049	0,079	0,101	0,098	0,114	0,183
nocalif-hom	0,165	0,051	0,110	0,174	0,093	0,101	1,069	0,123	0,066	0,015	0,041	0,044	0,077	0,098	0,093	0,107	0,163
secalif-hom	0,192	0,055	0,142	0,191	0,126	0,102	0,066	1,121	0,067	0,014	0,040	0,045	0,073	0,093	0,090	0,106	0,169
calif-hom	0,118	0,072	0,186	0,320	0,158	0,103	0,064	0,119	1,068	0,014	0,039	0,045	0,070	0,089	0,088	0,105	0,174
nocalif-muj	0,119	0,063	0,126	0,291	0,114	0,108	0,070	0,128	0,071	1,015	0,042	0,048	0,077	0,098	0,096	0,112	0,181
secalif-muj	0,126	0,087	0,293	0,322	0,140	0,119	0,074	0,137	0,079	0,016	1,045	0,052	0,079	0,102	0,101	0,121	0,202
calif-muj	0,113	0,081	0,437	0,410	0,178	0,126	0,075	0,142	0,083	0,017	0,047	1,055	0,080	0,102	0,104	0,125	0,217
q1	0,158	0,057	0,150	0,212	0,112	0,112	0,453	0,449	0,106	0,083	0,147	0,073	1,405	0,338	0,121	0,108	0,184
q2	0,159	0,060	0,168	0,230	0,119	0,153	0,329	0,505	0,146	0,066	0,153	0,099	0,074	1,214	0,231	0,119	0,249
q3	0,155	0,063	0,183	0,256	0,118	0,304	0,228	0,433	0,171	0,050	0,151	0,130	0,075	0,096	1,094	0,190	0,251
q4	0,153	0,064	0,193	0,273	0,116	0,426	0,159	0,390	0,181	0,033	0,127	0,160	0,076	0,097	0,095	1,112	0,181
q5	0,143	0,066	0,206	0,297	0,124	0,434	0,103	0,293	0,331	0,032	0,101	0,187	0,075	0,096	0,095	0,112	1,183

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec

Dasometric characterization and structure of tree stands at Chapultepec Forest second section

Héctor M. Benavides Meza[1] y Diana Young Fernández Grandizo[1]

RESUMEN

El Bosque de Chapultepec es el área verde urbana (AVU) de mayor extensión y con más visitantes de la Ciudad de México, razón por la cual su protección y conservación tiene gran relevancia por los servicios ambientales y beneficios antropocéntricos que genera. No obstante su trascendencia, hasta la fecha no se ha estudiado la estructura horizontal ni se han generado indicadores de su masa arbolada. Esta situación es extensiva al resto de las AVU de la ciudad y del país y solo se han realizado ocasionalmente estudios florísticos o diagnósticos físico-sanitarios. Se determinaron las características dendrométricas y dasométricas del arbolado en la 2ª sección, con base en información registrada durante el inventario total de sus árboles, complementada con la obtenida en 111 sitios de muestreo de 500 m². Se determinó una densidad promedio de árboles de 295/ha; un valor promedio de cobertura de copa por árbol de 27,19 m² y la cubierta del dosel excede 80% de la superficie; mientras que el valor promedio de área basal por árbol fue de 0,10 m² y los fustes ocupan 0,32% de dicha superficie. Los datos de este trabajo servirán como un indicador básico para la 2ª sección y una referencia para futuros trabajos de investigación y caracterización de masas arboladas urbanas, lo cual es fundamental para sustentar el manejo que requiere el bosque urbano de la Ciudad de México.

PALABRAS CLAVE:
Arbolado urbano, área basal, áreas verdes urbanas, Ciudad de México, dasonomía urbana.

ABSTRACT

Chapultepec Forest is the largest and most visited urban green area (UGA) of Mexico City and for these reasons, the protection and conservation of this place is a relevant issue to maintain the generation of the environmental services and benefits that it provides. Despite the importance of this area, there is a lack of information about the horizontal structure and indicators of the tree stands located in this place, as well as for the rest of the UGA of the city and the country, although some floristic or sanitary conditions studies had been done in some of them. The aim of this paper was to determine the dendrological and dasometric characteristics of the stands at the 2nd section of Chapultepec Forest, according with the information obtained from a total tree inventory, complemented with 111 sampling sites of 500 m². The estimated mean of trees per site was 295/ha, the mean crown cover value was 27,19 m² and the canopy cover in the area exceeds 80% of the total surface. The mean basal area was 0,10 m² and the stems occupied 0,32% of the total surface. This data will provide basic indicators for the 2nd section tree stands and a reference for future research projects and characterization of UGA in the city. In addition, the information is basic to sustain the management that requires the urban forest of Mexico City.

KEY WORDS:
Urban trees, basal area, urban green areas, Mexico City, urban forestry.

1 CENID-COMEF, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Av. Progreso núm. 5, Barrio de Santa Catarina, Del. Coyoacán, C.P. 04010. México, D.F. C.e.: benavides.hector@inifap.gob.mx.

INTRODUCCIÓN

El bosque urbano está conformado por los árboles, arbustos y vegetación herbácea asociada a estos, que se encuentran dentro de los límites de la ciudad. Lo compone tanto el arbolado de alineación en banquetas de calles, avenidas y camellones, como las áreas verdes urbanas (AVU), las cuales son espacios públicos bajo la responsabilidad de los gobiernos municipales o delegacionales. También es conveniente incluir en las AVU los derechos de vía, cementerios, barrancas y riberas de ríos o arroyos (Hitchings, 1981; Benavides, 1989); así como las grandes áreas arboladas, naturales o inducidas, que se encuentren dentro de la mancha urbana y que comúnmente se les denominan bosques (Chapultepec, San Juan de Aragón y Tlalpan, como ejemplos para la Ciudad de México).

El bosque urbano interactúa con el resto de los componentes bióticos y abióticos del ecosistema urbano y contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de la población y del ambiente citadino, razón por la cual es importante conocer las características y condiciones de las masas arboladas que lo conforman, particularmente en aquellas AVU sujetas a una fuerte presión de uso como es el caso del Bosque de Chapultepec.

Las masas arboladas urbanas, al igual que las forestales, están compuestas por diferentes estratos, los cuales pueden ser ubicados en una distribución vertical (desde el rastrero hasta el arbóreo superior), asimismo, una distribución horizontal de gran trascendencia, pues es un indicador de la respuesta del arbolado a las condiciones en que se ha desarrollado desde su plantación, comúnmente antropogénica, pero influida en forma decisiva por la presión humana, los factores ambientales y las actividades de mantenimiento que se aplicaron en dicho lugar (Sacksteder y Gerhold, 1979; Smiley y Baker, 1988).

Condiciones de las áreas verdes

Cuando una AVU recibe un número considerable de visitantes y no se realizan las acciones de mantenimiento acordes a esa situación, el deterioro que sufre el arbolado y el sitio puede llegar a ser difícil de revertir y, como consecuencia, se afectan los beneficios y servicios ambientales que se derivan.

Las AVU de la Ciudad de México y del resto del país no cuentan con programas de manejo, por lo que carecen de un documento rector que tutele y oriente las actividades de mantenimiento y mejoramiento necesarias. Ejemplo de lo anterior es la presencia de masas arboladas con especies altamente representadas o con elevadas densidades de plantación, que provocan que los árboles presenten deformaciones por la búsqueda de luz o bien estén suprimidos o debilitados por la falta de un abasto suficiente de agua y nutrientes minerales, lo que los predispone a una infestación por agentes bióticos nocivos.

Bosque de Chapultepec

Los primeros vestigios que se tienen en el lugar provienen del pueblo tolteca (1280), sin embargo, fueron los mexicas quienes incorporaron Chapultepec al desarrollo de la majestuosa Ciudad de México -Tenochtitlan, pues sus manantiales fueron utilizados como abasto de agua y sus zonas boscosas como área recreativa y coto de caza para los emperadores de esa ciudad estado (Nattal, 1923; Tovar, 1982).

En la actualidad el Bosque de Chapultepec está conformado por tres

secciones que, en su conjunto, tienen una superficie de 686,01 ha, lo que la hace el AVU de mayor extensión en la Ciudad de México y su área metropolitana. Es un sitio de gran trascendencia social, cultural, recreativa y ambiental, por lo que es uno de los parques urbanos más visitados del mundo.

La importancia meso-climática del bosque es de gran trascendencia pues, como lo refiere Jáuregui (1975), la temperatura en el área del bosque es menor, debido a la evaporación proveniente de los lagos y la evapotranspiración de las plantas y suelos, que ocasiona este contraste térmico entre el bosque y el área urbana circunvecina.

Segunda sección del Bosque de Chapultepec

La 2ª sección se inauguró el 24 de octubre de 1962 y se localiza al poniente del Anillo Periférico y al norte de la Avenida Constituyentes. Su diseño urbanístico fue realizado por el arquitecto Leónides Guadarrama y ocupa una superficie un poco mayor a 168 ha (Tovar, 1982; Hernández, 1999). En esta sección se encuentran los museos de Historia Natural, Papalote Museo del Niño y Tecnológico de la CFE; así como espacios recreativos de gran tradición como La Feria y diversas fuentes escultóricas, entre las que destaca la de Tláloc realizada por Diego Rivera y que se ubica en las cercanías del cárcamo que fue construido para recibir el agua proveniente de Lerma, Estado de México (Hernández, 1999; GDF, 2006).

El Gobierno del Distrito Federal (2006) reportó que las principales especies de árboles que se encuentran en la 2ª sección son *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. (eucalipto rojo), *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh. (fresno) y *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton (trueno lila), los cuales se presentan en más de 80% de las áreas verdes; sin embargo, no se menciona en ese trabajo cómo se realizó el estudio ni la frecuencia de los individuos.

En fecha reciente, la Dirección del Bosque de Chapultepec solicitó al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), la realización de varios proyectos en la zona, para lo cual fue fundamental la colaboración del Fideicomiso Pro-Bosque de Chapultepec. Entre ellos destaca la caracterización y diagnóstico de la 2ª sección, así como el inventario total de su arbolado, en el cual fue posible registrar las características, condiciones, especies y ubicación de los 38 825 individuos de tipo leñoso que se encontraron en este lugar (32 211 árboles, 3 142 arbustos y 3 472 arbolitos) (INIFAP-DBCh, 2009).

Caracterización de los bosques

El conocimiento de la estructura, conformación, distribución y desarrollo de las masas arboladas es importante, pues ayuda a clasificar y entender la influencia de los procesos que se han presentado en las mismas. Para llevar a cabo lo anterior se necesita definir la composición de especies, densidad de los árboles, estratos presentes e incluso la estimación del crecimiento potencial en las localidades donde crecen (Hocker, 1984).

El primer paso en la evaluación de una comunidad arbórea es su descripción cualitativa, la cual es muy valiosa e informativa, pero es básicamente subjetiva y por lo mismo está sujeta a las habilidades y sesgo del observador (Spurr, 1964). Con el fin de evitar esta situación, la caracterización de la estructura del estrato arbóreo debe basarse en índices cuantitativos que permitan analizar objetivamente las influencias antropogénicas

que se ejercen o los procesos de sucesión natural que ocurren en los ecosistemas forestales (Aguirre, 2002).

La caracterización de la estructura es una condicionante básica para tomar decisiones sobre el manejo de los recursos forestales, tanto en localidades bajo aprovechamiento o uso, como en áreas naturales protegidas (Corral *et al.*, 2005). El bosque urbano, al igual que las masas forestales, requiere del conocimiento de sus características, composición, densidad, estado físico y estado sanitario, con el fin de determinar su situación y las acciones de mantenimiento necesarias, así como programar y presupuestar los recursos financieros, humanos y materiales que se requieren para su conservación, mejoramiento y en caso de ser posible, fundamentar su manejo.

Densidad del rodal

El desarrollo de una estructura vertical y horizontal en el bosque es resultado de la competencia entre las especies vegetales, las cuales refieren la ocupación en superficie de los árboles sobre el suelo (Corvalán y Hernández, 2006). La diferencia fundamental entre un bosque bajo manejo o sin éste es el control de la densidad (Becerra, 1986). Spurr y Barnes (1980) definen la densidad como la cantidad de árboles o área basal por unidad de área, pero debe considerarse como un indicador del grado en que los árboles ocupan el área de un lugar en un momento dado y permite representar parcialmente y de manera sencilla la estructura de los rodales (Zepeda, 1984).

La densidad puede ser determinada por medio de varios parámetros entre los que destacan el número de árboles, área del fuste, área basal, diámetro normal, volumen, altura dominante, etc. Dichos parámetros permiten la elaboración de índices con los cuales se puede determinar el grado de ocupación de los árboles en un área específica. Ejemplo de ellos son los índices de densidad basados en el espacio de crecimiento de los individuos (Becerra, 1986) y puede evaluarse en términos de área basal o cobertura del dosel (Corvalán y Hernández, 2006).

El control de la densidad es muy importante, ya que influye en el crecimiento de los árboles. En los rodales coetáneos la competencia por la luz, la humedad y los nutrientes depende en gran medida de la densidad de los árboles en ese sitio (Spurr y Barnes, 1980). Estos estudios han confirmado que existe una relación estrecha entre el tamaño de los individuos y su número por unidad de superficie en diferentes situaciones competitivas y es independiente de la edad y de la calidad del sitio, lo cual ofrece una base de la cual se desprende el conocimiento de las interacciones competitivas entre los individuos de una población (Márquez y Álvarez, 1995).

Si bien se ha generado este tipo de información para especies forestales como por ejemplo *Pinus patula* Schl. et Cham. (Becerra, 1986), *Pinus cooperi* var. *ornelasi* Martínez (Márquez y Álvarez, 1995), *Pinus hartwegii* Lindl. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Zepeda y Villarreal, 1987 y Aguirre *et al.*, 1994), este tipo de estudios no han sido aún realizados en masas arboladas urbanas de la Ciudad de México e incluso de otras ciudades de la República Mexicana.

Una razón de lo anterior puede estar relacionada con el hecho de que la definición de la densidad óptima en este tipo de masas arboladas no es una tarea sencilla, ya que se deben de tomar en cuenta múltiples condiciones bióticas, abióticas y de uso (sociales), pero indudablemente, es conveniente generar una referencia que permita orientar las actividades que

desarrollan los encargados operativos de las AVU, especialmente cuando no se cuenta con planes de manejo.

OBJETIVOS

Determinar las características dendrométricas y dasométricas del arbolado y de la masa arbórea de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec.

Determinar los indicadores básicos respecto al número de árboles y su densidad para las diferentes zonas que conforman la 2ª sección del Bosque de Chapultepec.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El Bosque de Chapultepec se localiza al poniente del Distrito Federal en la Delegación Política Miguel Hidalgo (Casasola, 2006; GDF, 2006) (Fig. 1); aunque no depende administrativamente de ésta. Se encuentra entre los paralelos 19°23'40" y 19°25'45" de latitud norte y los meridianos 99°10'40" y 99°14'15" de longitud oeste (PUEC-UNAM, 2002) y se presenta una diferencia de altitud en su relieve que va de los 2 250 msnm en la 1ª sección, a más de 2 400 msnm en la parte más alta de la 3ª sección (Molina, 1979). El clima en el lugar se caracteriza por una precipitación abundante en la estación lluviosa (700 mm a

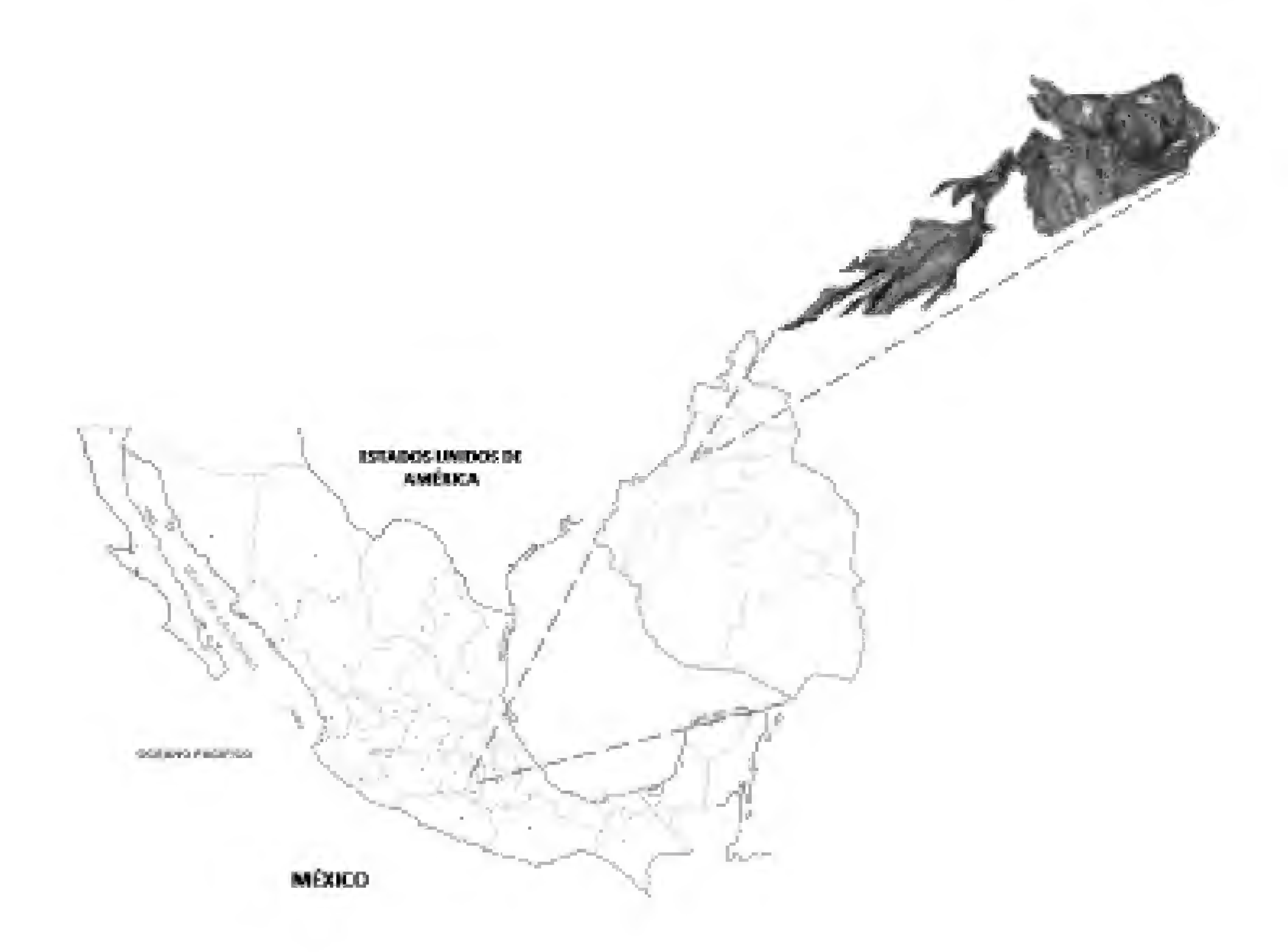


Figura 1. Ubicación del Bosque de Chapultepec en la Delegación Miguel Hidalgo del Distrito Federal, México.

1100 mm), que corresponde a la zona de los lomeríos del borde poniente y sur de la ciudad (PUEC-UNAM, 2002). De acuerdo con Conabio (1997), el clima se clasifica como C(w1)(w)(i´)g, es decir, templado subhúmedo con lluvias en verano y temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, con poca oscilación anual entre las temperaturas medias del mes más frío y del mes más caliente (entre 5 °C y 7 °C) y una marcha anual de la temperatura tipo Ganges. Los veranos en Chapultepec son frescos y largos, el mes más cálido se presenta antes de junio. Su índice de humedad (P/T) está entre 43,2 y 55,0 y la cantidad de lluvia es escasa en invierno (menor de 5%).

Inventario y registro del arbolado

La zonificación que se utilizó en el presente trabajo corresponde a la empleada en el inventario del arbolado de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec, en el cual se dividió en zonas y subzonas para facilitar el muestreo y registro de los árboles (Fig. 2). La descripción y límites de las mismas se refieren en el informe final de dicho proyecto (INIFAP-DBCh, 2009) y en la figura 2 se presenta su ubicación.

Los árboles y arbustos de la 2ª sección fueron inventariados de acuerdo con la metodología utilizada en el Programa de Investigación de Dasonomía

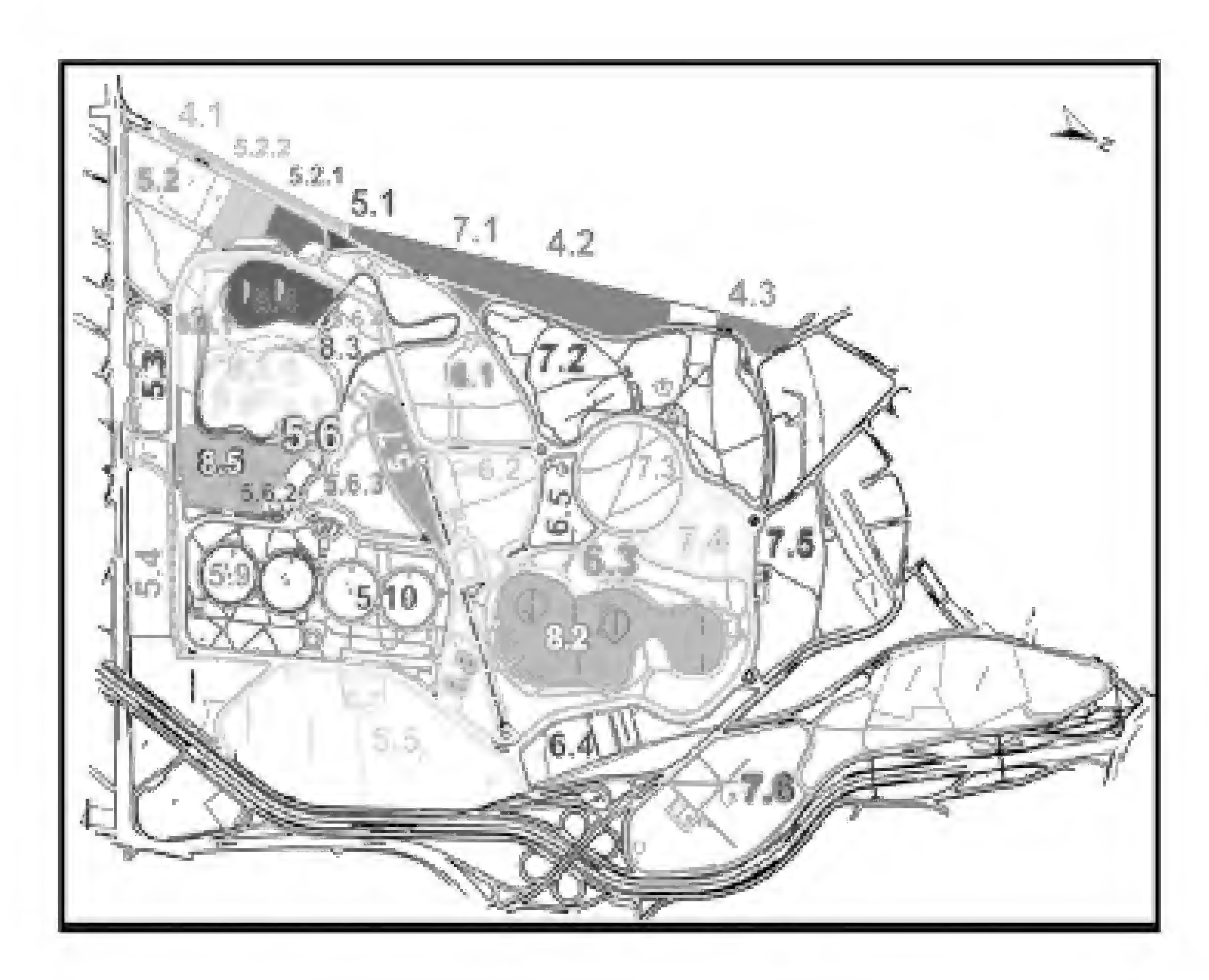


Figura 2. Zonificación de la segunda sección del Bosque de Chapultepec para la realización del inventario total de su arbolado.

Urbana del INIFAP, que por no ser parte medular de este reporte no se describe en extenso; pero entre las características y variables determinadas en cada planta se encuentran: especie, etapa de edad, datos dendrométricos (altura, diámetro normal y basal), cobertura de copa, estado físico del tronco y de la copa, así como la condición sanitaria del tronco y de la copa. Los árboles fueron etiquetados y se generó una base de datos y un sistema de consulta para su utilización por parte del personal de la Dirección del Bosque de Chapultepec.

Trabajo de campo complementario

En adición al inventario y con el propósito de estimar en forma confiable los diferentes parámetros de interés relacionados con este componente del proyecto, se definió un diseño de muestreo sistemático que consistió en una retícula de puntos equidistantes 100 m y ubicados de acuerdo a una imagen georreferenciada de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec (Fig. 3).

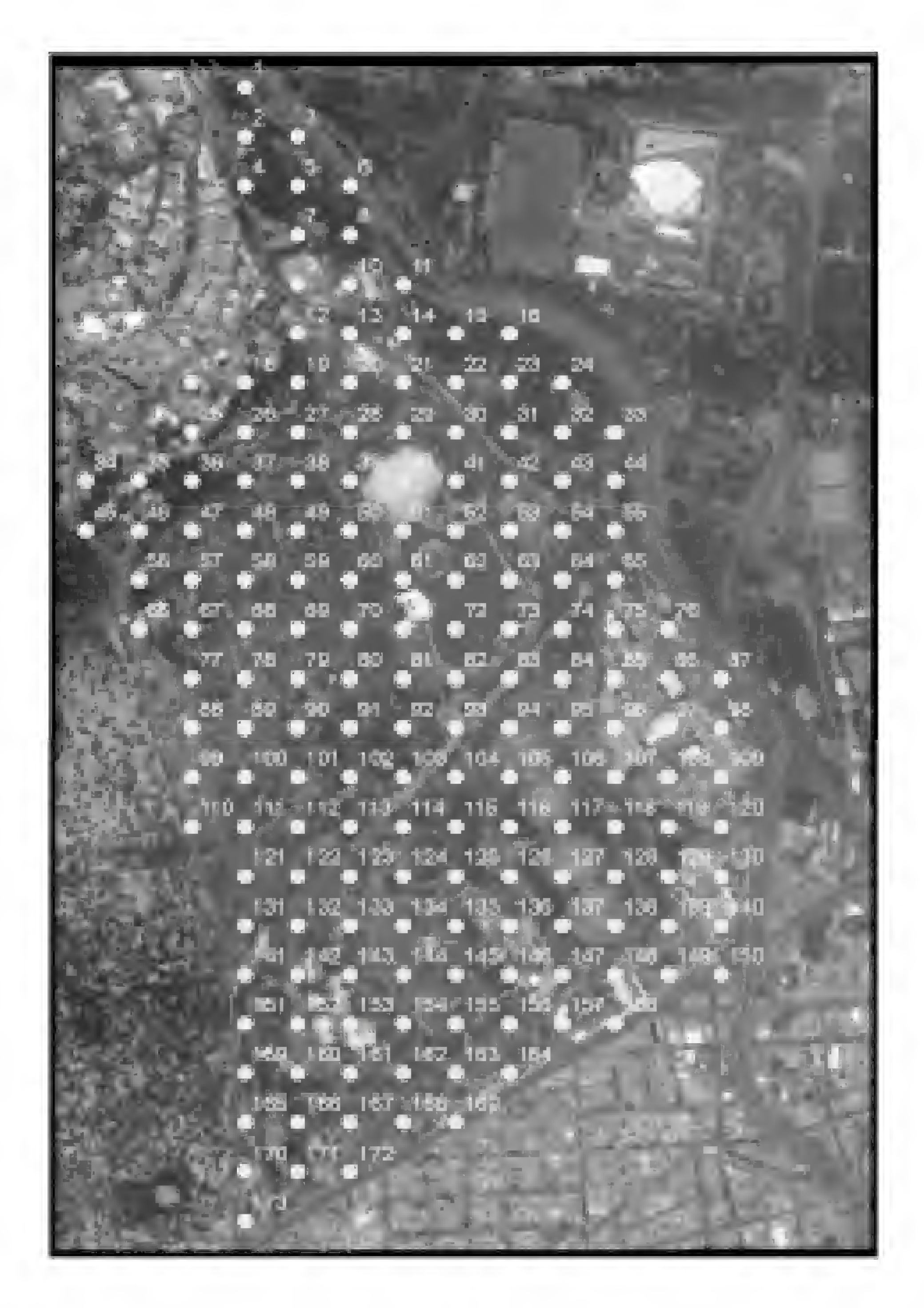


Figura 3. Retícula de puntos de muestreo (sitios) en la 2ª sección del Bosque de Chapultepec.

Los puntos estaban referidos por coordenadas UTM y marcaban el centro de los sitios de muestreo, los cuales tenían una forma circular de 12,6 m de radio (500 m^2) y fueron localizados mediante un geoposicionador. De los 173 sitios posibles de muestrear solo se evaluaron 111, debido a que varios se ubicaron en edificaciones, vialidades, fuentes o instalaciones recreativas y culturales. En la tabla 1 se presenta una relación del número de sitios muestreados por zona y la superficie de cada una de ellas, aunque cabe aclarar que los puntos ubicados en la zona 8, están considerados dentro de la 5 (Fig. 2).

Tabla 1. Superficie de cada zona en la 2ª sección del Bosque de Chapultepec y número de sitios de muestreo.

Zona	*Superficie por zona (ha)*	*Núm. de sitios muestreados*
4	5,3	5
5	39,6	46
6	22,5	19
7	38,5	41
Total	105,9	111

El área exclusivamente arbolada en la 2ª sección del Bosque de Chapultepec, es decir, la que no está ocupada por museos, escuelas, vialidades y otras construcciones fue estimada en 1´059168 m^2 (105,9 ha), por lo que la superficie de los 111 sitios de muestreo (55 500 m^2 o 5,55 ha), representa 5,24% de dicha superficie.

Los datos de campo se obtuvieron de diciembre de 2008 a mayo de 2009 y la información registrada a nivel de unidad de muestreo fue la siguiente: número de sitio, número de árbol central (de acuerdo con el que le había sido asignado en el inventario), fecha, coordenadas UTM y especie arbórea preponderante en el sitio. Todos los árboles que se encontraban dentro del radio se registraron y se complementó la información recabada durante el inventario con datos relativos a la evidencia de ataque de plagas y/o enfermedades, así como la cobertura de copa, la cual se midió con cinta métrica en dos dimensiones que formaban un ángulo de 90° y siempre de línea de goteo a línea de goteo.

Con los datos recabados en campo se hizo el proceso pertinente de los datos para determinar el área basal (*AB*) y la superficie ocupada por las copas (*CC*). La primera se refiere a la superficie ocupada por los troncos y se calculó conforme a la ecuación 1, que permite determinar el área basal (*AB)* en m^2 a partir del diámetro basal (*DB*) en cm:

$$AB = \frac{\pi\left(\frac{DB}{2}\right)^2}{10000} \quad (1)$$

La cobertura de copa es definida por FONAM (2006) como la proyección ortogonal de las copas de los árboles sobre la superficie, es decir, hace referencia a la superficie del suelo que es cubierta por individuos de porte arbóreo de una o todas las especies. Esta variable dendrométrica se obtuvo a partir del promedio de los segmentos derivados de las dos dimensiones registradas, el cual se consideró entonces como el diámetro de la copa (Prom *C*) y se obtuvo el radio (Ec. 2).

$$CC = \pi\left(\frac{\text{Prom } C}{2}\right)^2 \quad (2)$$

Con base en lo anterior, se estimó el área ocupada tanto por el fuste como por las copas de los árboles en cada zona y por extensión para la 2ª sección del Bosque de Chapultepec. Cabe destacar que en estos cálculos no se incluyó la información de los árboles pequeños (diámetro normal menor a 5 cm y altura menor a 2,5

m) debido a que este tipo de individuos son muy susceptibles a ser eliminados por vandalismo o por cualquier factor abiótico que ocasiona su rápida pérdida de vigor y muerte, que se relaciona con la dinámica del bosque urbano y que conlleva una gran fluctuación en su número en el corto plazo y, por ende, su contribución es poco representativa para los valores dasométricos.

RESULTADOS

Número de árboles

En los 111 sitios de muestreo se registraron 1 843 árboles pertenecientes a 41 especies, aunque se encontraron diferencias en el número de individuos por sitio de acuerdo con la zona. Los mayores valores se presentaron en las zonas 5 y 7 (16 y 18, respectivamente) y el promedio de árboles por sitio dependiendo de la zona fue de 9 a 18, mientras que el promedio general para la 2ª sección fue de 15 árboles por sitio (Tabla 2).

Con base en estos datos, se realizó la estimación del número de árboles promedio por cada 100 m^2 y por hectárea en cada zona (3,15 y 295 árboles, respectivamente). En la tabla 2 se presenta también el número de árboles estimados por zona, con base en los datos promedio y la superficie de cada una, así como el número de individuos que fue registrado durante el inventario y la diferencia entre estimación e inventario. En las zonas 5 y 7 se estimó un número mayor de árboles que los que fueron registrados en el inventario, mientras que en las zonas 4 y 6 se presentó una situación contraria, pues se registraron más árboles en el inventario que el obtenido con base en las estimaciones, lo que podría indicar una sobreplantación en dichas zonas.

Distancia promedio al árbol central

En la tabla 3 se muestran los resultados de la distancia promedio y distancia mínima al árbol central por zona, de los cuales el menor valor se registró en la zona 6 y el promedio general para la 2ª sección que fue de 4,36 m; aunque cabe mencionar que en algunos sitios este valor llegó a ser de 0,3 m.

En relación con lo anterior, es importante mencionar que aún cuando el número de árboles registrados en la zona 4 fue mayor que el estimado, la distancia promedio entre árboles fue más amplia de todas las zonas, lo que indica probablemente una distribución por grupos.

Cobertura de copa

En cada sitio de muestreo de 500 m^2, el área ocupada por las copas de los árboles fue superior a 400 m^2, es decir, una cobertura de copas del 84,8%. Con el fin de contar con parámetros de mayor facilidad de aplicación, se estimó para cada zona la cobertura promedio por cada 100 m^2, su extrapolación por hectárea (8482,7 m^2) y el promedio general para la 2ª sección del Bosque de Chapultepec (Tabla 4). Asimismo, se determinó el índice de cobertura por zona (superficie cubierta por las copas de los árboles con respecto a la superficie del lugar), que puede tener valores que van de 0 (ausencia de dosel) a 1 (traslape íntegro de la superficie foliar con la del sitio). Con los datos estimados por zona, se calculó un índice promedio general para la 2ª sección del Bosque de Chapultepec de 0,85 (Tabla 4).

Tabla 2. Número de árboles estimados e inventariados en la 2ª sección del Bosque de Chapultepec.

Zona	*Núm. de árboles muestreados*	*Núm. promedio de árboles por cada 500 m²*	*Núm. promedio de árboles por cada 100 m²*	*Núm. de árboles estimado por ha*	*Núm. de árboles estimados por superficie*	*Núm. total de árboles inventariados**	*Diferencia entre el muestreo y el inventario*
4	45	9	2,48 ± 1,13	180	959	1262	-303
5	758	16	3,45 ± 0,31	330	13044	11200	+1844
6	290	15	3,03 ± 0,10	305	6879	7329	-450
7	750	18	3,65 ± 0,28	366	14077	12420	+1657
	Total	Promedio	Promedio	Promedio	Total	Total	Total
	1843	15 ± 2,02	3,15 ± 0,26	295±40,36	34959	32211	2748

* Valores estimados con base en la información obtenida de INIFAP-DBCh (2009).

Tabla 3. Distancia promedio y mínima promedio al árbol central en cada zona de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec.

Zona	*Distancia promedio al árbol central por zona (m)*	*Distancia mínima promedio al árbol central por zona (m)*
4	9,67 ± 0,39	6,35 ± 0,98
5	8,82 ± 0,18	3,77 ± 0,29
6	8,58 ± 0,12	3,74 ± 0,24
7	8,69 ± 0,22	3,56 ± 0,22
Promedio general	8,94 ± 0,25	4,36 ± 0,67

Tabla 4. Cobertura de copa para cada zona de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec.

Zona	*Cobertura promedio por cada 500 m² (m²)*	*Cobertura de copa estimada por ha (m²)*	*Índice de cobertura de copa promedio por ha*	*Cobertura de copa promedio (m²)*
4	408,1 ± 213,4	8161,9	0,82 ± 0,43	31,7 ± 2,8
5	423,1 ± 31,5	8462,6	0,85 ± 0,06	24,3 ± 1,7
6	418,5 ± 77,6	8369,7	0,84 ± 0,16	28,0 ± 5,8
7	446,8 ± 23,8	8936,4	0,89 ± 0,05	24,9 ± 1,7
Promedio general	424,1 ± 8,2	8482,7 ± 163,8	0,85 ± 0,02	27,2 ± 1,7

Cobertura de copa promedio por árbol

El valor promedio de cobertura de copa por individuo para cada zona de la 2ª sección va de 24,3 m² a 31,7 m²; mientras que el promedio general por árbol para la 2ª sección fue de 27,2 m² (Tabla 4). Con base en este último dato y en el número total de árboles inventariados, se calculó la superficie ocupada por el dosel en cada zona. La zona 4 presentó el menor valor, ya que tiene un área de 53250 m² (5,33 ha), con una superficie ocupada por copas de 43462 m² (4,35 ha), lo que indica que 81,6% está ocupada por el dosel (Fig. 4). El valor calculado para la 2ª sección asciende a 875,889 m² (87,6 ha), la cual representa 82,7% de toda su superficie.

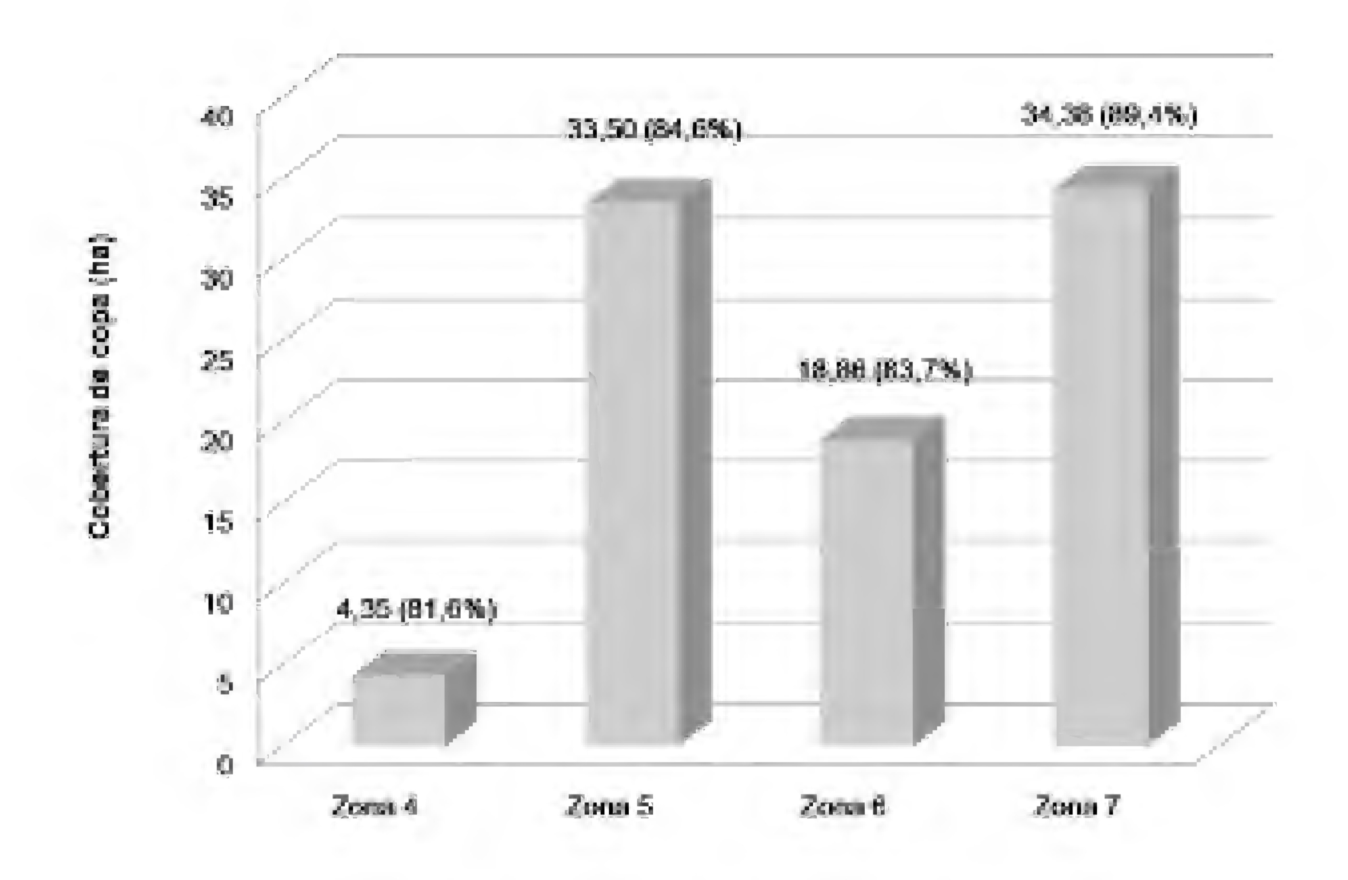


Figura 4. Cobertura de copa para cada zona de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec.

Tabla 5. Área basal (AB) para la 2ª sección del Bosque de Chapultepec.

Zona	*AB promedio por cada 500 m² (m²)*	*AB estimada por ha (m²)*	*Índice de AB promedio por ha*	*Promedio de AB (m²)*
4	1,44 ± 0,45	28,87	0,0029 ± 0,0009	0,13 ± 0,02
5	1,40 ± 0,19	28,09	0,0028 ± 0,0004	0,10 ± 0,01
6	1,65 ± 0,22	32,95	0,0033 ± 0,0004	0,11 ± 0,02
7	1,57 ± 0,12	31,40	0,0031 ± 0,0002	0,09 ± 0,005
Promedio general	1,52 ± 0,06	30,33±1,13	0,0030 ± 0,0001	0,10 ± 0,01

Área basal

Los valores promedio de área basal registrados en los sitios de muestreo se observan en la tabla 5. De manera similar a la cobertura de copa, con dichos datos se estimó el valor por hectárea en cada zona; presentándose el menor valor en la zona 5. El promedio general para la 2ª sección del Bosque de Chapultepec fue de 30,3 m²/ha (Tabla 5). Con base en estos resultados se calculó el índice de área basal para cada zona de la 2ª sección, de los cuales el valor más alto se obtuvo en la zona 6 (0,0033), que corresponde a menos del 1% (0,33%) de la superficie del terreno; mientras que en la zona 5 se obtuvo el valor más bajo (0,28%). El índice promedio de área basal para la 2ª sección del Bosque de Chapultepec fue de 0,0030 (Tabla 5).

Área basal promedio por árbol

Con base en los procedimientos y datos referidos anteriormente, se estimó el valor promedio de área basal por individuo arbóreo, el promedio general para la 2ª sección del Bosque de Chapultepec fue de 0,10 m² (Tabla 5). Con base en este último dato, se calculó la superficie ocupada por los árboles inventariados en cada una de las zonas (Fig. 5).

Relación área basal-cobertura de copa

En la figura 6 se presenta la correlación entre el área basal y la cobertura de copa del arbolado ubicado en los sitios de muestreo en la 2ª sección. Los resultados muestran que 56,7% de los árboles cuentan con una cobertura de copa menor a los 20 m² y un área basal menor a 0,1 m²; con un nivel de ajuste menor a 50% (R_2= 0,4345 a partir de la ecuación y=0,002x + 0,033). Este valor se corresponde con una probable condición de sobreplantación que influye en una deformación en el crecimiento de los individuos, lo cual repercute en copas deformadas o sobrelape de las mismas.

DISCUSIÓN

Una característica de las masas forestales bajo manejo es la manipulación de la densidad y estructura horizontal de las mismas, lo cual solo es posible cuando se tienen referencias e indicadores de ese tipo de rodales. Este tipo de información no se había generado aun para algún componente del bosque urbano de la Ciudad de México, por lo que los datos que se presentan a continuación son una primera referencia para este tipo de sitios.

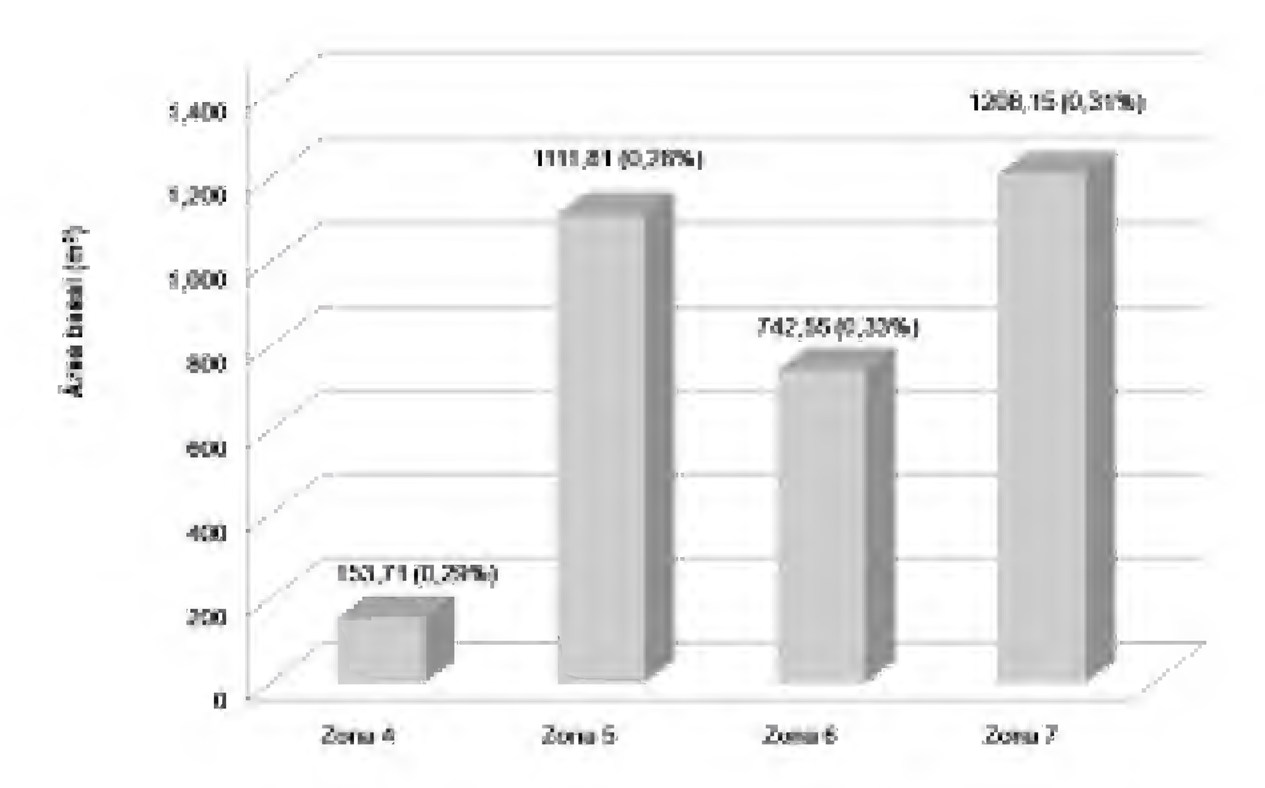


Figura 5. Proyección del área basal para las zonas que conforman la 2ª sección del Bosque de Chapultepec.

El número de árboles promedio estimado para la 2ª sección del Bosque de Chapultepec fue de 295/ha, el cual se considera inferior a lo recomendable para un AVU. Este valor presenta gran disparidad entre zonas, pues en la 4 el valor promedio fue de 180 mientras que en la 7 fue de 366. Lo anterior indica una distribución no uniforme de los árboles en la 2ª sección; en las zonas con mayor densidad podría estar asociado con condiciones microambientales del sitio que influyen en su sobrevivencia, asumiendo que el mantenimiento es similar.

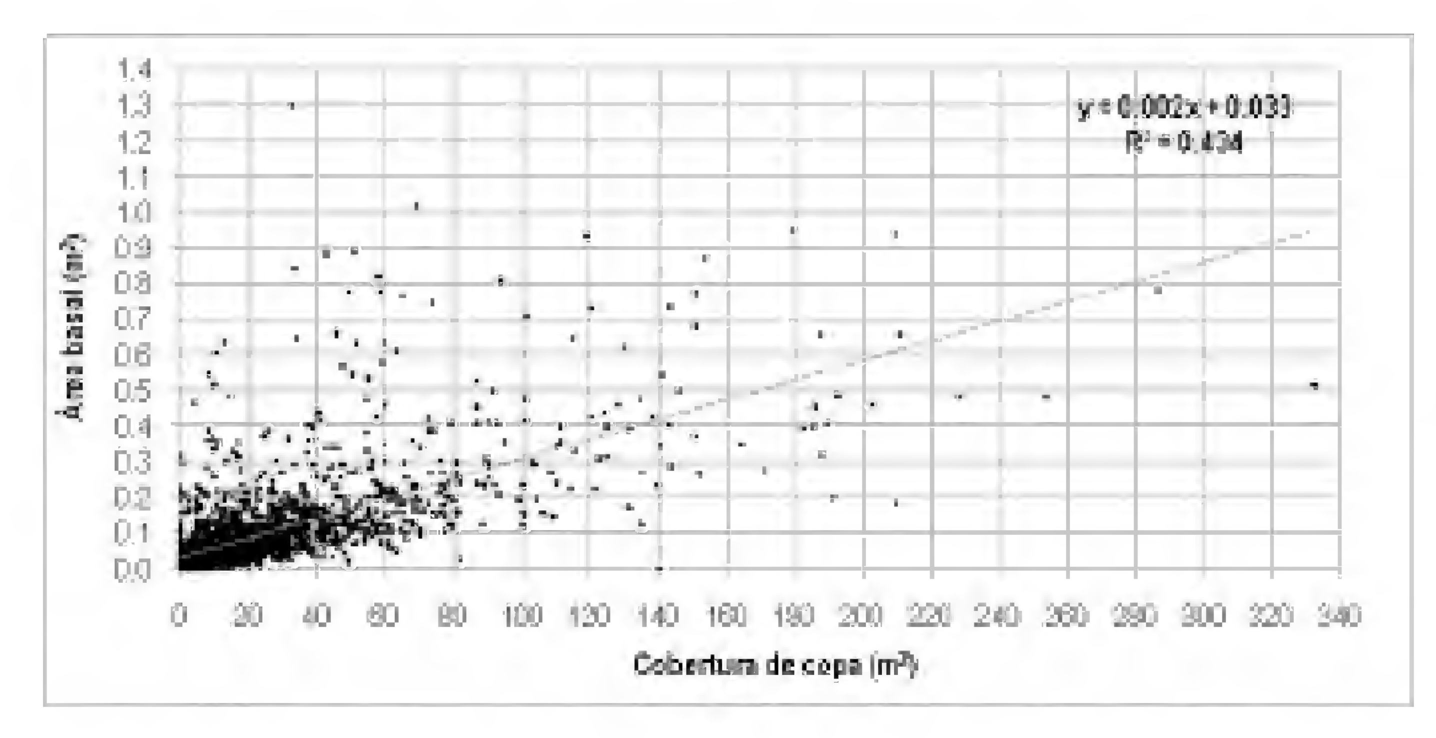


Figura 6. Relación entre el área basal y la cobertura de copa de los árboles muestreados en los sitios de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec.

No es posible comparar los datos registrados en este proyecto, sobre el número de árboles por superficie con ninguna otra área verde de la Ciudad de México ni del país, pues no se tiene a la fecha una referencia similar que pudiera ser utilizada. Se han realizado trabajos de tesis que abordan la evaluación de áreas verdes en diferentes lugares de la ciudad, como es el caso de Jiménez (1988) en la 1ª sección del Bosque de Chapultepec, Rojo (2006) en las delegaciones Benito Juárez y Coyoacán y Mizerit (2006) en Cuauhtémoc y Venustiano Carranza, en los cuales no se estimó o calculó esta variable, aunque reportaron valores de frecuencia y abundancia de especies con base en el muestreo realizado.

Una referencia comparativa dentro del contexto urbano es la publicada por McBride y Jacobs (1979), quienes registraron una densidad de 35 árboles por hectárea en un encinar antes de que el sitio se urbanizara. Este número se duplicó posteriormente con las prácticas de manejo e introducción de especies que se llevaron a cabo. En cambio, el proceso de urbanización en un bosque de coníferas provocó una disminución de la densidad del arbolado, al descender de 761 a 329 árboles por hectárea, aunque ciertas prácticas de plantación posterior ocasionaron que la densidad aumentara a 373 individuos, valor muy por debajo del registrado en condiciones naturales.

En forma comparativa, la densidad del arbolado que se ha publicado para zonas forestales en condiciones ambientales parecidas a las de la Ciudad de México refieren valores de 1174/ha en un bosque de oyamel conformado principalmente por *Abies vejarii* Martínez, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco y *Quercus greggii* (A. DC.) Trel. en Coahuila, México (Encina *et al.,* 2008); mientras que Williams *et al.* (1996) encontraron una densidad que varió de 510/ha a 1340/ha en bosques mesófilos con diferentes grados de perturbación en las cercanías de Xalapa, Veracruz. Por su parte, Aguirre *et al.* (2003) refieren, para rodales de *Pinus culminicola* Andersen et Beaman, una cantidad de 100/ha a 780/ha, lo cual es indicativo de una baja densidad debido a las condiciones climáticas extremas del sitio de estudio en el Cerro del Potosí, Nuevo León; pero en un rodal conformado por esta especie y *Pinus hartwegii* ubicado en una localidad cercana registraron 1113/ha. Asimismo Nájera y Hernández (2008) encontraron una densidad de 239/ha de las especies *Pinus cooperi* Blanco y *Pinus leiophylla* Schl. et Cham. al suroeste de Durango, pero estimaron que el sitio podría sostener una población de 454 individuos sin competencia entre ellos; mientras que Williams (1991) registró 960 individuos por hectárea en un bosque mesófilo de montaña en la Reserva de la Biósfera “El Triunfo”, Chiapas.

Como se observa, el número de árboles por unidad de superficie es muy variable y responde principalmente a las condiciones ambientales, pero también a los factores de intervención humana, sean estas sujetas a una acción programada dentro de un programa de manejo o simple perturbación.

Con base en lo anterior, el número de árboles por hectárea para la 2ª sección del Bosque de Chapultepec se ubica por debajo de lo registrado para áreas forestales, pero cercano a los datos aportados por McBride y Jacobs (1979). Esto puede estar relacionado con las condiciones limitantes que enfrenta el bosque urbano (abasto de agua, vandalismo, baja calidad del suelo, apertura inducida del espacio por debajo del dosel por cuestiones de seguridad e incluso por las actividades de recreación que practican los visitantes). No obstante, el mayor espaciamiento entre individuos permite la

presencia de árboles en condiciones de crecimiento libre, con amplias copas y fustes relativamente altos.

Distancia promedio al árbol central

La distancia promedio entre árboles en la 2ª sección fue de 8,94 m; mientras que la distancia mínima promedio fue de 4,36 m. En forma similar a las otras variables determinadas en la 2ª sección, existe poca información de áreas verdes en la Ciudad de México que sea comparable con estos datos y solo se cuenta con lo publicado por Mizerit (2006), quien refiere que en las áreas verdes de las delegaciones Cuauhtémoc y Venustiano Carranza la distancia fue de 3,92 m y 2,93 m, respectivamente. Asimismo, Rojo (2006) registró para Benito Juárez y Coyoacán valores de 3,05 m y 3,08 m, respectivamente. Alanís (2005) refiere que en relación con el espaciamiento entre árboles en una plantación urbana, se debe partir del principio de que lo que se busca es un árbol de buen porte, es decir, una estructura de copa y altura de la misma que pueda llegar a 14 m, 18 m, 22 m o más y con una cobertura que pueda medir de 8 m a 10 m de diámetro, por lo que se requieren distancias mínimas aceptables entre ejemplares plantados. Con base en lo anterior, es recomendable que la distancia final entre árboles maduros sea de 4 m a 8 m, dependiendo de la especie, con el fin de reducir la fuerte competencia por espacio, luz, humedad y nutrientes. También se recomienda, por otra parte, dar fin a la costumbre de establecer árboles en densidades elevadas y lo que es más grave, no aplicar prácticas de aclareo, pues la resultante de estos procedimientos, con el paso del tiempo, es la presencia de árboles débiles y mal conformados, que no aportan de forma óptima los beneficios y servicios ambientales requeridos por los habitantes de las ciudades.

Cobertura de copa y área basal

Cuando el número de árboles se relacionó con la cobertura de copa y el área basal, variables de mayor utilidad para estimar el nivel o grado de ocupación del espacio disponible, se observó que el arbolado ocupa casi totalmente la superficie disponible con sus copas (8 482 m^2/ha), con un valor promedio por individuo ligeramente superior a 27 m^2. Como en los casos anteriores, no se cuenta con información comparativa para el arbolado de AVU en la Ciudad de México y como referencia sólo se pueden mencionar trabajos de índole forestal, en los cuales se han publicado valores promedio de cobertura de copa de 7,9 m^2 ± 2,4 m^2 y 5,7 m^2 ± 4,4 m^2 para individuos de *Pinus cembroides* Zucc. en dos rodales del sur de Nuevo León (Vallejo, 1997). Nájera y Hernández (2008) encontraron una cobertura de copa promedio por árbol de 5,21 m^2 en un bosque coetáneo de *P. cooperi* y *P. leiophylla* en Durango. Arias (2005) indica que se espera la presencia de individuos con extensas copas en sitios de bajos niveles de ocupación, lo cual concuerda con los datos registrados en el presente trabajo, ya que los árboles cuentan con mayor espacio al ser menor el número de árboles por hectárea.

No obstante, los datos obtenidos en el presente trabajo para la 2ª sección deben interpretarse con cierta cautela, pues muchos árboles de este lugar son eucaliptos (principalmente *E. camaldulensis*), atacados por la conchuela (*Glycaspis brimbiecombei* Moore) y por lo mismo, la mayoría de sus copas son poco frondosas por la declinación ocasionada por el insecto chupador, lo que ha ocasionado una mayor entrada de luz hacia los estratos inferiores y al suelo. Esta situación favorece a los árboles de menor altura pues están en posibilidad de recibir una mayor radiación solar. Con base en lo

anterior, es importante que en los árboles urbanos la cobertura de copa se relacione con lo denso u opaco de la misma y su vigor, con el fin de contar con mejores elementos de juicio para definir el valor idóneo de la misma.

En el caso del área basal los datos evidencian que en cada hectárea de la 2ª sección, los troncos ocupan en promedio 30,33 m^2. Si bien este valor en principio puede parecer reducido, hay que considerar que los troncos son sólo estructuras de conducción y soporte para permitir al follaje realizar las actividades fisiológicas necesarias para el desarrollo y crecimiento del árbol.

No se cuenta con datos de área basal publicados para otras AVU de la Ciudad de México o de la República Mexicana; sin embargo, el área basal registrada para un bosque templado con una temperatura media anual similar a la del Bosque de Chapultepec (12 °C -18 °C), fue de 25,1 m^2/ha a 60,6 m^2/ha (Williams *et al*., 1996), lo cual se relaciona con una mayor precipitación (1 806 mm) que la registrada en este parque. En el caso de bosques caducifolios conformados por especies de aprovechamiento maderable como *Myracrodruon urundeuva* Fr. Allem., *Schinopsis brasiliensis* Engl., *Tabebuia impetiginosa* Mart. Ex. DC., *Cedrela fissilis* Vell., *Hymenaea courbaril* L., *Aspidosperma subincanum* Mart. y *Amburana cearensis* (Fr. Allem.) A. C. Smith., se encontraron valores de densidad de área basal que van de los 23 m^2/ha a los 24 m^2/ha en bosques perturbados, y hasta 29,3 m^2/ha en el caso de los bosques sin perturbación (Terra *et al*., 2004). Asimismo, el área basal publicada para una plantación comercial de eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake), de 24 a 82 meses de edad, fue de 7,5 m^2/ha a 19,45 m^2/ha, dependiendo de la calidad de sitio (Nogueira *et al*., 2005). Návar y González (2009) mencionan que en un bosque templado de encinos en Durango se registró un área basal de 11,9 m^2/ha y cuando el bosque estaba conformado por pinos, el valor ascendió a 16,1 m^2/ha. Encina *et al.* (2008) encontraron que un bosque de oyamel en Coahuila presentaba 29,69 m^2/ha. Williams *et al.* (1996) estudiaron seis sitios de bosque mesófilo en Veracruz y los resultados variaron de 25,1 m^2/ha a 60,6 m^2/ha de área basal. Un bosque templado caducifolio del este de EUA presentó un área basal de 30 m^2/ha para árboles con diámetro normal mayor a 10 cm (Held y Winstead, 1975); mientras que algunos bosques mesófilos de montaña, con dominancia de elementos templados, presentan áreas basales que también se aproximan a los 30 m^2/ha.

En contraste, los bosques con más especies arbóreas neotropicales presentan una mayor área basal, por ejemplo en el volcán de San Martín en Los Tuxtlas, Veracruz, el área basal es de 69,30 m^2/ha en el borde del cráter y de 43,74 m^2/ha dentro del cráter (Álvarez del Castillo, 1977). En la Reserva de la Biósfera "El Triunfo", Chiapas, fue de 54,5 m^2/ha (Williams, 1991) y en un bosque lluvioso de montaña del mismo estado se registraron 102 m^2/ha (Zuill y Lathrop, 1975).

Indicadores para el manejo del bosque urbano

La correlación que se efectuó entre el área basal y la cobertura de copa mostró un bajo ajuste debido, en principio, a la gran cantidad de especies y por ende las diferencias morfológicas de éstas. Asimismo, la sobrecompetencia entre individuos ocasiona una alteración de la forma de la copa como resultado de la sobreplantación; aunado a la deformación de las copas por podas incorrectas que afectan su estructura. No obstante, la correlación de estas variables puede ser

de cierta utilidad como un indicador de la situación del arbolado y su densidad, especialmente cuando se tengan más datos que permitan generar indicadores más sólidos.

Es de suma importancia que se continúen realizando investigaciones de este tipo en otras AVU de la Ciudad de México y de la República Mexicana, con el fin de contar con mejores indicadores del número idóneo de árboles de acuerdo a las condiciones ambientales del sitio y que sustenten los programas de manejo que requieren.

Los datos de cobertura de copa y área basal que se han generado para la masa arbolada de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec, proporcionan por primera vez una referencia para un AVU en México, un primer acercamiento al conocimiento dasométrico del arbolado de la Ciudad de México y una referencia paramétrica para futuros trabajos en el ámbito de la dasonomía urbana. Es importante destacar la precisión de la información generada en el presente proyecto, pues se tuvo la oportunidad de utilizar datos provenientes de un inventario total del arbolado de esta área verde, lo que le confiere a los datos una exactitud poco común, pues generalmente se obtienen con base en inventarios por muestreo.

Cuando los encargados operativos tengan a su disposición programas de manejo sutentados en indicadores confiables generados bajo criterios fundamentados en la dasonomía urbana, podrán inducir la densidad de las masas arbóreas urbanas acorde con las condiciones ambientales del área verde y por ende, contar con una base sólida que permita el manejo de las mismas e incrementar a su máximo los beneficios y servicios ambientales que proporcionan a los citadinos y al medio urbano.

CONCLUSIONES

Se presenta una gran disparidad en el número de árboles promedio por hectárea entre las zonas de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec, que indica una distribución no uniforme del arbolado.

En las diferentes zonas de la 2ª sección, la cobertura de las copas ocupan casi la totalidad de la superficie; sin embargo, la cantidad de follaje no es lo denso u opaco que sería recomendable por la declinación que presenta el arbolado.

El número de árboles y superficie ocupada por sus troncos, si bien parece un valor reducido en comparación con la superficie de la 2ª sección, permite sustentar un dosel que cubre más de 80% de esa superficie.

Los valores promedio de cobertura de copa y área basal por hectárea son ligeramente diferentes en el contexto general a los registrados para lugares de tipo forestal.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Fideicomiso Probosque de Chapultepec que financió el proyecto y a las autoridades del Bosque de Chapultepec que dieron todas las facilidades para su realización, así como a los revisores por sus atinadas sugerencias.

REFERENCIAS

Aguirre C., O.A. 2002. Índices para la caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales. Revista Ciencia Forestal en México 27(92):5-27.

Aguirre C., O.A., G. Vega y J. Jiménez. 1994. Guía de densidad para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Nuevo León. Memorias del Simposio y II Reunión Nacional de Silvicultura y Manejo de Recursos Forestales. 43 p.

Aguirre C., O.A., J. Jiménez P., H. Kramer y A. Akça. 2003. Análisis estructural de ecosistemas forestales en el Cerro del Potosí, Nuevo León, México. Ciencia UANL 6(2):219-225.

Alanís F., G.J. 2005. El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. Ciencia UANL 8(1):20-32.

Álvarez del Castillo, C. 1977. Estudio ecológico y florístico del cráter del volcán de San Martín Tuxtla, Ver., México. Biótica 2:3-54.

Arias, D. 2005. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. Revista Forestal Kurú. Costa Rica 2(5):2-11.

Becerra L., F. 1986. Determinación de una guía de densidad para *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Chignahuapan-Zacatlán, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México. 82 p.

Benavides M., H.M. 1989. Bosque urbano: la importancia de su investigación y correcto manejo. In: A. Villa, A. Castro y C. Nieto. eds. 1989. Memoria del Congreso Forestal Mexicano 1989. Tomo II. Toluca, Estado de México. 19 al 22 de julio de 1989. Gobierno del Estado de México y Academia Nacional de Ciencias Forestales, A.C. p:966-992.

Casasola M., M. 2006. Influencia del Bosque de Chapultepec en el clima urbano de la Ciudad de México. Tesis de Licenciatura, Carrera de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México, D. F. p:98.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 1997. Carta de Climas México, a escala 1:1000000 (clasificación Köppen modificado por E. García). Comisión Nacional para Estudios de la Biodiversidad, México, D.F.

Corral R., J.J., J.J. Pérez, O.A. Aguirre C. y S. Corral R. 2005. Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña El Cielo, Tamaulipas, México. Investigación Agraria, Sistema de Recursos Forestales 14(2):217-228.

Corvalán V., P. y J. Hernández P. 2006. Densidad de rodal. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Cátedra de Dasometría. Chile. 5 p. Disponible en: http://146.83.41.79/profesor/dasometria/4.%20DENSIDAD%20DE%20RODAL.pdf (28 de septiembre de 2009).

Encina D., J.A., F.J. Encina D., E. Mata-Rocha y J. Valdés-Reyna. 2008. Aspectos estructurales, composición florística y caracterización ecológica del bosque de oyamel de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 83:13-24. Disponible en: http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57711109003. (15 de enero de 2010).

Fondo Nacional del Ambiente-Perú (FONAM) 2006. Propuesta final para una definición peruana de bosques a ser utilizada en proyectos de uso de la tierra, cambio de uso y silvicultura bajo el protocolo de kyoto durante el

primer periodo de compromiso. 3 p. Disponible en: http://www.fonam-peru. org/general/bosques/documentos/propuesta_final.pdf (5 de marzo de 2010).

Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2006. Programa de rehabilitación integral del Bosque de Chapultepec. In: Dirección de Educación Ambiental-GDF, eds. 2006. Memorias. Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental. Gobierno del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente, Dirección de Educación Ambiental. 59-113 pp. Disponible en: http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=406 (3 de febrero de 2009).

Held, M.E. y J.E. Winstead. 1975. Basal area and climax status in mesic forest systems. Annals of Botany 39:1147-1148.

Hernández H., A. 1999. Serie señalética para la 2a sección del Bosque de Chapultepec. Tesis Profesional. Licenciatura de Comunicación Gráfica. Escuela Nacional de Artes Plásticas, UNAM. México, D.F. 125 p.

Hitchings, D.R. 1981. Prontuario de Dasonomía Urbana. 1ª edición. Arizona State Land Dept., Forestry Division, University of Arizona & USDA, Forest Service. Tucson, Arizona, EUA. 37 p.

Hocker, H.W. 1984. Introducción a la Biología Forestal. 1ª edición. AGT Editor, S. A. México, D.F. 446 p.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias - Dirección del Bosque de Chapultepec (INIFAP-DBCh). 2009. Informe final del proyecto "Diagnóstico y caracterización de la 2ª sección e inventario total de su arbolado". Informe de uso Interno. s/p.

Jáuregui O., E. 1975. Microclima del Bosque de Chapultepec. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM 6:63-72.

Jiménez S., M.R. 1988. Diagnóstico Ecológico de las Áreas Verdes de la Delegación Cuauhtémoc D.F. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 73 p.

Márquez L., M.A. y R. Álvarez Z. 1995. Construcción de una guía de densidad para *Pinus cooperi* var. *ornelasi* con base en la clase de copa en Durango, México. Madera y Bosques 1(2):23-36.

McBride, J.R. y D.F. Jacobs. 1979. Urban forest structure: A key to urban forest planning. California Agriculture 33(5):24. Disponible en: http://ucce.ucdavis.edu/files/repositoryfiles/ca3305p24-62637.pdf (5 de marzo de 2010).

Mizerit T., L.H. 2006. Situación y características del arbolado en las áreas verdes de las delegaciones Cuauhtémoc y Venustiano Carranza, Distrito Federal. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 77 p.

Molina E.M., J.F.F. 1979. Algunos aspectos del deterioro ambiental en el Bosque de Chapultepec. Tesis Profesional, Carrera de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 58 p.

Nájera L., J.A. y E. Hernández H. 2008. Relaciones morfométricas de un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. Ra Ximhai 4(1):69-81.

Nattal, Z. 1923. Los Jardines del Antiguo México. México Forestal 1(4):3-10.

Návar C., J. de J. y S. González E. 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. Polibotánica 27:71-87.

Nogueira D., A., H. Garcia L., L. Couto y A. Carvalho F. 2005. Emprego de um modelo de crecimiento e producao em povoamentos desbastados de eucalipto. Revista Árvore 29(5): 731-739.

Programa Universitario de Estudios sobre la ciudad (PUEC-UNAM). 2002. Proyecto ejecutivo para la implementación del manejo integral y desarrollo autosostenible del Bosque de Chapultepec. DGUBUEFA-SMA. Informe de uso interno. 142 p.

Rojo N., I.A. 2006. Condiciones y características de las áreas verdes y su arbolado en las delegaciones Benito Juárez y Coyoacán, D.F. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 64 p.

Sacksteder, C.J. y H.D. Gerhold. 1979. A guide to urban tree inventory systems. School of Forestry Resources, Penn. State University. Research Paper 43. 52 p.

Smiley E.T. y F.A. Baker. 1988. Options in street tree inventories. Journal of Arboriculture 14(2):36-42.

Spurr, S.H. 1964. Forest Ecology. 1ª edición. Ronald Press Company. Nueva York, EUA 352 p.

Spurr, S.H. y B.V. Barnes 1980. Ecología Forestal. 3ª ed. AGT editor. S.A. México. 690 p.

Terra N., A.R., A. Scariot, J. Alves da S. y A.C. Sevilha. 2004. Estimativas de área basal e uso do raloscópio de Bitterlich em amostragem de floresta estacional decidual. Ciência Florestal 14(2):169-176.

Tovar, L. 1982. Estudio descriptivo de los árboles y arbustos más comunes del Bosque de Chapultepec. Tesis Profesional, Carrera de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 153 p.

Vallejo M., G.E. 1997. Asociación de variables dasométricas a diferentes niveles de producción de conos de pino piñonero *Pinus cembroides* Zucc. en el Sur de Nuevo León, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Subdirección de Postgrado. Universidad Autónoma de Nuevo León. 126 p.

Williams L., G. 1991. Nota sobre la estructura del estrato arbóreo del bosque mesófilo de montaña en los alrededores del campamento “El Triunfo”, Chiapas. Acta Botánica Mexicana 13:1-7.

Williams L., G., I. Pérez G. y J. Tolome. 1996. El bosque mesófilo de montaña y un gradiente altitudinal en el centro de Veracruz. La Ciencia y el Hombre 8(23):149-161.

Zepeda B., E.M. 1984. Ejemplificación de tres procedimientos para caracterizar rodales por su densidad. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo Edo. de Mex. 57 p.

Zepeda B., E. M. y M. E. Villareal D. 1987. Guía de densidad para *Pinus hartwegii* Lind. de Zoquiapan, Méx. División de Ciencias Forestales. Univer-

sidad Autónoma Chapingo. Chapingo Edo. de Mex. 52 p.

Zuill, H.A. y E.W. Lathrop. 1975. The structure and climate of a tropical montane rain forest and an associated template pine-oak-liquidambar forest in the northern highlands of Chiapas. Anales del Instituto de Biología Universidad Autónoma de México. Serie Botánica 46:73-118.

Manuscrito recibido el 10 de junio de 2010.
Aceptado el 27 de julio de 2012.

Este documento se debe citar como:
Benavides-Meza, H.M. y D. Young-Fernández Grandizo. 2012. Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. Madera y Bosques 18(2):51-71.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

La madera de *Trema micrantha* (L.) Blume de Veracruz, México

Wood of *Trema micrantha* (L.) Blume from Veracruz, México

Alejandra Quintanar-Isaías[1], Marco A. Jacobo-Villa[2], Citlalli López-Binnqüist[3], Noé Flores-Hernández[1], Ana Teresa Jaramillo-Pérez[1] y Carmen de la Paz Pérez-Olvera[1]

RESUMEN

Se estudió la anatomía microscópica, los índices hidráulicos y mecánicos de la madera de 28 árboles de *Trema micrantha* de cuatro localidades ubicadas en los municipios de Xico y Coatepec en el estado de Veracruz. Adicionalmente, se determinaron las características macroscópicas, la densidad relativa, el contenido de humedad y algunas pruebas de carpintería en probetas de diferentes tamaños de la madera de tres árboles, con el fin de proponer usos alternativos en zonas rurales. Los resultados mostraron que *T. micrantha* presenta un xilema mesomórfico, poco resistente a la cavitación, de baja densidad relativa, con valores bajos de índices de colapso de vaso y fibras y altos para el índice de vulnerabilidad. Los análisis de varianza confirman que de todas las características estudiadas solamente el índice de colapso de los vasos es similar entre indivíduos y poblaciones. Las comparaciones múltiples arrojan que los caracteres que separan a las localidades Bola de Oro y Los Barrales de las otras son el grosor de la pared y el número de radios. Las pruebas tecnológicas describen una madera que no se raja al clavado, responde bien al ensamblado y al torneado por lo que se recomienda para su uso en la carpintería rural.

PALABRAS CLAVE:
Anatomía de la madera, carpintería, densidad relativa, tecnología de la madera, zonas rurales.

ABSTRACT

The microscopic anatomy, hydraulic and mechanical indices of the wood of 28 trees of the species *Trema micrantha* of four localities in the municipalities of Xico and Coatepec in Veracruz State, Mexico were studied. In addition, macroscopic characteristics such as relative density and moisture content were determined. Results showed that *T. micrantha* has a mesomorphic xylem characterized by low resistance to cavitation, low values of relative density, low indices for vessel and fiber collapse and a high index of vulnerability. An analysis of variance shows that of all the characteristics studied, only the rate of collapse of the vessels is similar between individuals and populations. Multiple comparison tests show that wall thickness and the number of rays separate populations Bola de Oro and Barrales from the other sites of study.Carpentry tests reveal that wood from *T. micrantha* is resistant to splitting when nailed, is well suited to assemblage, and thus, it is recommended for use in carpentry in rural areas.

KEY WORDS:
Wood anatomy, carpentry, specific gravity, wood technology, rural areas.

1 Departamento de Biología. C.e.: aqi@xanum.uam.mx.
2 Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica.
1,2 Universidad Autónoma Metropolitana. Av. San Rafael Atlixco 186, Colonia Vicentina, Iztapalapa.
3 Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana.

INTRODUCCIÓN

El género *Trema* se considera pantropical, contiene entre 14 y 55 especies (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999). *T. micrantha* (Ulmaceae), tiene muy amplia distribución, desde el sur de Florida, EUA hasta el norte de Argentina. En México crece desde el Sur de Tamaulipas hasta Yucatán y Quintana Roo y en la vertiente del Pacífico desde Sonora y Sinaloa hasta Chiapas. A lo largo de su distribución recibe una gran diversidad de nombres locales. En Chiapas se conoce como capulín, capulín cimarrón, colorada, pellejo de vieja; en Oaxaca como cuero; en Michoacán como equipal; en la Sierra Norte de Puebla como jonote o chacá; y en Veracruz como checait, guacimilla e ixpepe (Gutiérrez y Dorantes, 2004).

En México, los árboles de esta especie pueden encontrarse en varios tipos de vegetación, desde selvas bajas de diversa caducidad y medianas y altas perennifolias hasta bosques mesófilos de montaña (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999) y pueden alcanzar hasta 20 m de alto en 7 años, son heliófitos y de rápido crecimiento (Ackerly, 1997; Vázquez-Yanes *et al.*, 1999). *Trema micrantha* produce abundante inflorescencia con pequeñas flores monoicas una vez al año, lo que explica que se considere como la segunda especie después de *Ficus* spp., para alimentar a una gran cantidad de aves migratorias que son vehículo de dispersión (Ackerly, 1997). Cuando los árboles crecen en bosques secundarios y llegan aproximadamente a los 30 años de edad, son reemplazados naturalmente por árboles de otros taxa más longevos.

Esta especie produce una gran cantidad de materia orgánica debido al rápido crecimiento de su follaje, lo que promueve mejores condiciones del microclima y calidad del suelo, que lo hace muy estable y con buenas condiciones de humedad (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999), por lo que ha sido recomendada en la reforestación de áreas perturbadas (National Academy of Sciences, 1980; Vázquez-Yanes *et al.*, 1999). Al respecto, en Brasil, *T. micrantha* es utilizada como una de las especies clave en la recuperación de áreas erosionadas o degradadas (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; Carvalho, 1994). Se considera una especie con alto valor ecológico pues constituye una fuente de alimento clave para varias especies de aves en plantíos forestales (Ferreira *et al.,* 1976), en la preservación de áreas sujetas a inundaciones y en la estabilización de dunas (Amorim *et al.,* 1997). Selaya *et al.* (2008) observaron que en sucesiones secundarias en selvas tropicales de la amazonia boliviana, *T. micrantha* es la primera en dominar la cubierta vegetal. En un estudio de dendrometría, Ferreira *et al.* (2009), demostraron que *T. micrantha* es una de las más productoras de hojarasca, pues encontraron que la producción de ésta se relaciona directamente con la altura y el diámetro de los troncos.

Se conoce que en países centroamericanos *T. micrantha* es subutilizada, aunque en Guatemala, esta especie es la que presenta mayor variedad de usos actuales y potenciales, tales como: pilotes, postes, madera en rollo, leña, forrajes, como sombra, para conservación de suelos y aguas e incluso para la producción de pulpa y papel (Melgar, 2003).

Gelder *et al.* (2006) realizaron un estudio sobre las relaciones entre la mecánica de la madera, la alometría y la historia de vida de varias especies de bosques tropicales lluviosos de Bolivia. Estos autores registraron para *T. micrantha* valores de densidad (pa/vm, g cm^{-3}: pa = peso anhidro; vm = volumen al momento de la prueba) en estado saturado y seco para ramas (0,75; 0,23;

respectivamente) y para tronco (0,74; 0,20; respectivamente). También determinaron valores de resistencia en flexión (Módulo de ruptura, MOR 25,1 N mm^{-2}), resistencia a la compresión (11,4 N mm^{-2}), módulo de elasticidad (MOE 3533 N mm^{-2}) y otros valores mecánicos asociados a las resistencias de las ramas en árboles en pie. De acuerdo con IAWA (1989) la densidad relativa de esta madera en seco sería ligera o baja (≤ 0,40).

Williams (1992) estudió el crecimiento diamétrico de varias especies arbóreas del bosque de neblina de los alrededores de Xalapa encontrando que los de *T. micrantha* se enmarcan en la clase diamétrica 20 cm - 29 cm. Hasta entonces su madera no recibía ningún uso industrial.

Bárcenas y Ordóñez (2008) estudiaron la calidad de la madera de *T. micrantha* y otras especies utilizadas como sombra de cafetales en el centro de Veracruz. Los autores calificaron la madera de esta especie como con densidad relativa moderadamente ligera (0,42), muy rápida para secarse, con severas deformaciones, de contracciones moderadas y de resistencia mecánica baja. Con relación al maquinado y la trabajabilidad, la sitúan como una madera fácil de trabajar pero regular para el cepillado.

Trema micrantha se ha usado para la producción de papel amate en la Sierra Norte de Puebla, en sustitución de especies de *Ficus* y *Morus,* tradicionalmente utilizadas para esta labor. *T. micrantha* es la única que puede descortezarse durante todo el año y es también la que crece de manera más rápida y extensa, siendo uno de los árboles preferidos para la sombra de cafetales, cercas, postes construcciones ligeras y eventualmente como leña y planta medicinal (Sangalli *et al.,* 2002; López, 2003; Toledo y Salick, 2006; Martínez *et al.,* 2007). Durante los últimos 30 años los cosechadores de corteza en el estado de Puebla, México, han empleado árboles de esta especie con diámetros menores a 20 cm, pues es la edad del árbol ideal para obtener las fibras de su corteza para la elaboración del papel amate. Sin embargo, recientemente las poblaciones se han visto mermadas por una sobrexplotación de los individuos más jóvenes. Además, después de la cosecha, la madera de estos árboles queda en pie y expuesta directamente al ambiente, por lo que rápidamente pierde su valor como material maderable comercializable y sólo puede emplearse para leña o reincorporarse al suelo (Quintanar *et al.*, 2010; López *et al.,* 2012). Esto plantea una alternativa metodológica para la valoración tecnológica, si el fin que se persigue es buscar y promocionar nuevos usos para *T. micrantha* con diámetros menores a 20 cm, como una forma opcional para la economía y subsistencia de las poblaciones rurales. Uno de los usos promisorios de la madera de esta especie es en la carpintería rural.

OBJETIVOS

Evaluar las características anatómicas e índices hidráulicos y mecánicos de la madera de árboles jóvenes de *Trema micrantha*, para conocer la variación entre individuos y entre localidades, con el fin de entender su respuesta tecnológica. De esta manera se pretende contribuir al conocimiento de sus características tecnológicas para considerarla como una especie potencial en la carpintería rural en las zonas rurales cafetaleras.

METODOLOGÍA

Sitios de muestreo. La madera procede de 28 árboles de *Trema micrantha* de los predios: El Grande (localidad 1), municipio de Coatepec; Bola de Oro (localidad

2), Plan de Lago Preso (localidad 3) y Los Barrales (localidad 4) del municipio de Xico (Fig.1), todos en el estado de Veracruz, México. En cada predio se muestrearon siete árboles. En El Grande, el clima es templado, con temperatura promedio de 19,2 °C; precipitación pluvial media anual de 1926 mm; lo irrigan cuatro arroyos tributarios del río de Los Pescados o La Antigua: El Pixquiac, Los Pintores, El Sordo y El Hueyapan. Bola de Oro, Plan de Lago Preso y los Barrales pertenecen al municipio de Xico, en el que el intervalo altitudinal va de 1100 msnm a 1400 msnm. Se registra un clima templado, con temperatura media anual de 19° C; con precipitación total anual de 1200 mm a 1500 mm; la temperatura del mes más frío varía entre 3 °C y 18 °C (Gómez, 1991). Los suelos que se desarrollan pueden ser de tipo ferralíticos, profundos, arcillosos y poco porosos, así como andosoles diferenciados y húmicos, profundos, muy porosos y limosos. En las barrancas profundas se avizoran afloramientos rocosos, aunque los suelos se muestran poco erosionados.

La reserva de agua más importante del centro del estado se encuentra en la franja oriental del Volcán Cofre de Perote, pues alimenta los ríos Bobo, Actopan y Los Pescados. Los ríos Calpixcan, Hueyapan, La Funda y el Matlacóbatl son los más importantes de la zona y tributarios todos ellos del río Los Pescados. El río Matlacóbatl es de los más grandes en longitud en el municipio y da origen a las cascadas La Monja y Texolo (Gómez, 1991).

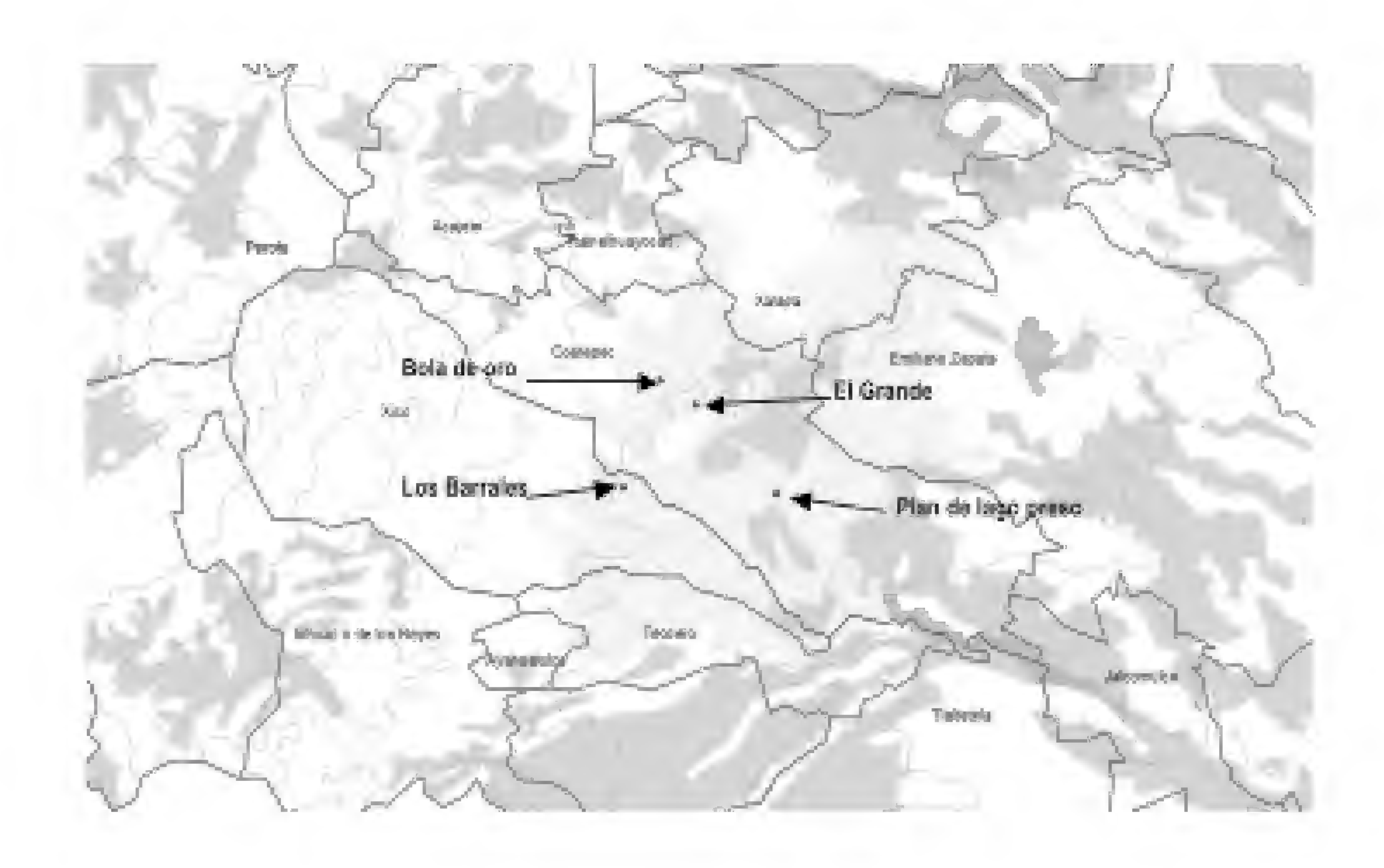


Figura 1. Sitios de colecta, municipios de Coatepec y Xico, Veracruz.

Procesamiento de material

1. Anatomía microscópica, índices de vulnerabilidad (I.V.), de colapso (I.C.) y conductividad hidráulica teórica $K_{h\text{ -teórica}}$.

De los fustes de los 28 árboles seleccionados de hasta 20 cm de DAP, se obtuvieron piezas de madera de 5 cm de profundidad y 5 cm de ancho y largo. Estas piezas se dimensionaron para obtener tres cubos de 2 cm por lado. Cada cubo se ablandó usando una solución de alcohol-glicerol-agua (a.g.a.), infiltrándola al vacío durante una semana. Después, los cubos se colocaron en una solución de PEG al 5% para elaborar cortes transversales, tangenciales y radiales en un criostato marca Leica a –20 °C. Las muestras se pegaron en portaobjetos con adhesivo de Haup. Para la tinción se usó azul de toluidina, lavando los cortes y dejándolos secar. Se añadieron gotas de xilol y se montaron en resina Entellan. Adicionalmente, se preparó el material disociado de cada de cubo de acuerdo con los protocolos de Johansen (1940).

En la sección transversal se midieron: diámetro de los vasos y número por milímetro cuadrado; en la sección tangencial: altura y anchura de radios, así como número de radios por milímetro. En el material disociado se midieron longitud, grosor y diámetro de fibras y longitud de vasos. En la sección radial se midieron altura y achura de las punteaduras intervasculares. Se hicieron al menos 30 mediciones por cada carácter. La clasificación de los tamaños se hizo de acuerdo con Chattaway (1932). Los caracteres cualitativos se describieron de acuerdo con IAWA (1989). Por otro lado, se determinaron los contenidos celulares de acuerdo con Quintanar *et al.* (2004).

Para el cálculo del índice de vulnerabilidad (*I.V.*) se usó la ecuación 1 de (Carlquist, 1977).

$$I.V. = \frac{dv}{n} \qquad (1)$$

donde:

dv: diámetro de vaso
n: número de vasos/mm^2

Para calcular el índice de colapso (*I.C.*) se usó la ecuación 2 (Hacke *et al.,* 2001).

$$I.C. = \left(\frac{2gp}{d}\right)^2 \qquad (2)$$

donde:

gp: grosor de la pared de la célula (vaso o fibra)
d: diámetro de la pared de la célula (vaso o fibra)

La conductividad hidráulica (k_h) teórica se obtuvo aplicando la ecuación 3 (Streeter y Wyllie, 1985).

$$\frac{m}{t} = \frac{\rho\pi D^4}{128\mu}\frac{dP}{dl} = \frac{\rho\pi r^4}{8\mu}\frac{dP}{dl} = k_h \qquad (3)$$

donde:

m: masa del fluido
t: tiempo
dP: cambio de la presión
dl: cambio de longitud
D: diámetro de la sección
r: radio de la sección
μ: viscosidad dinámica del fluido
ρ: densidad del fluido

Se calculó el diámetro y el radio de la sección del segmento estudiado. Con los datos de diámetro y número de vasos/mm^2, se obtuvo el área efectiva teórica de conducción para el cálculo de $k_{h\text{-area}}$ y el diámetro equivalente del flujo

para calcular $k_{h\text{-}vaso}$. Las unidades para k_h son: m kg MPa s^{-1} y los índices se consideran adimensionales (Quintanar, 2009).

Se estimaron las medias y las desviaciones estándar con las que se obtuvieron las categorías numéricas y la clasificación de las características anatómicas mensurables. Para evaluar las diferencias de estás últimas, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de K_h, I.V., $I.C._{vaso}$ e $I.C._{fibras}$, considerando a las localidades y los árboles como variables categóricas. También se analizó la correlación de Pearson de todas las variables.

Además, se hizo la prueba de comparación múltiple Tukey-Kramer ($p < 0,05$) para separar a las localidades considerando a los caracteres anatómicos y un análisis discriminante, con el propósito de detectar diferencias de los caracteres microscópicos mensurables en los siguientes niveles: *1)* entre árboles y *2)* entre localidades. Se realizaron análisis discriminantes múltiples (ADM) sobre una matriz de 699 muestras, 28 árboles y 10 variables anatómicas. El criterio utilizado para evaluar las diferencias entre los grupos fue la λ de Wilks, que tiende a tomar valores cercanos a cero cuando los grupos están bien definidos en función de las variables consideradas y tiende a uno cuando los grupos no están bien definidos (Tatsuoka, 1970). Se realizaron dos análisis discriminantes: (i) considerando a los siete árboles muestreados por localidad, haciendo un total de 28 árboles; (ii) separando a las muestras por localidades, haciendo un total de cuatro. Se extrajeron las funciones discriminantes correspondientes y se identificaron aquellas variables que más contribuyen a la separación entre grupos. Para todos los análisis se usó el programa Stata 7 (StataCorp., 2001).

2. Anatomía macroscópica, densidad relativa (ρ_r) y contenido de humedad (C.H.).

En el predio El Grande se seleccionaron y derribaron tres árboles de diámetro no mayor a 20 cm, de los que se obtuvieron tablillas longitudinales de 15 cm x 7 cm x 1 cm, para la determinación de las características macroscópicas (tipo de hilo, textura y veteado), de acuerdo con Tortorelli (1956), y el color con las Tablas de Munsell (Munsell Color Co., 1954). Adicionalmente, a una altura de 1,30 m se cortaron, hacia el ápice del individuo, tres rodajas de 5 cm de grueso para muestrear al azar cubos de 3 cm de lado abarcando toda la superficie transversal.

A los cubos se les determinó volumen en verde (por desplazamiento de agua), peso fresco y peso anhidro (peso seco constante) para calcular densidad relativa y C.H. al corte. Para tal efecto se emplearon las ecuaciones 4 y 5 respectivamente.

$$\rho_r = \frac{pa}{vv} \quad (4)$$

donde:

ρ_r: densidad relativa
pa: peso anhidro
vv: peso del volumen desplazado.

$$C.H. = \left(\frac{pv - pa}{pa}\right)100 \quad (5)$$

donde

pv: peso fresco de las muestras
pa: peso anhidro de las muestras

La clasificación de las características de la madera se hizo de acuerdo con la IAWA (1989). Se estimaron las medias y las desviación estándar de estos caracteres.

3. Pruebas tecnológicas: secado, contenido de humedad de 12% ($C.H_{12\%}$), contracciones, cepillado, clavado, ensamblado y torneado. Elaboración de objetos.

Estas pruebas se realizaron para demostrar que la madera de *T. micrantha*, si es secada al aire libre y cuidada en el proceso, puede ser una alternativa para producir objetos de uso rural a bajo costo, con herramientas manufacturadas por los mismos productores. Las pruebas tecnológicas se efectuaron en la UNAM-I, en una región donde el contenido de humedad en equilibrio es cercano a 12%.

De los árboles derribados se elaboraron tablones de 30 cm, 60 cm y 80 cm de largo y 5 cm de grosor, que fueron las dimensiones alcanzadas debido al diámetro. Del tablón de 30 cm se obtuvieron 10 cubos de 5 cm de arista para pesarlos en fresco. Simultáneamente, los cubos y los tablones se dejaron secar al aire libre, bajo techo. Diariamente los cubos se pesaron hasta que alcanzaron un peso constante. Los cubos se emplearon para determinar la contracción volumétrica, registrándose los cambios en las dimensiones transversales y longitudinal, cuando se alcanzó el peso anhidro al secarlos en un horno. Cuando los cubos alcanzaron el $C.H_{12\%}$, se presumió que también lo hicieron las tablas; esto se corroboró con un espécimen de cada tablón, encontrándose similitudes en los C.H. Para el cálculo de esta variable, se aplicó la ecuación 5. Se hizo un ANOVA para observar diferencias entre la densidad relativa, los contenidos de humedad y las contracciones.

Con las tablas al 12% de C.H., se hicieron pruebas de cepillado, clavado, ensamblado y torneado. Se manufacturaron varios objetos: un banco, varios percheros y objetos torneados como patas de mesa. Las pruebas de cepillado consistieron en pasar sobre las superficies longitudinales al hilo y en contra una garlopa o cepillo de madera rudimentario. El clavado consistió en introducir clavos de varios tamaños a través de superficies transversales y longitudinales. Se hicieron tres tipos de ensamblado: de cruz, de 45 grados y de espiga con escolopo. Para ello se utilizaron herramientas como gurbias rudimentarias, formones y serruchos pequeños. El torneado se probó en un taller local de carpintería para mostrar su respuesta al astillamiento y estabilidad como pieza de soporte. Se elaboraron objetos de pequeño formato para poder ser transladados.

Los resultados de las pruebas de uso en carpintería se llevaron a la comunidad de productores en donde se desarrollaron talleres de carpintería en varias localidades del municipio de Pahuatlán, en la Sierra Norte de Puebla.

RESULTADOS

1. Anatomía de la madera de *T. micrantha*

Características macroscópicas.

La madera no presenta zonas de crecimiento definidas, ni diferencias entre albura y duramen. Es de color castaño claro (7,5 YR 6/4), el hilo es entrecruzado, la textura es mediana marcada por los vasos, el veteado suave, no presenta olor ni sabor. No presenta anillos o zonas de crecimiento. Los vasos son visibles a simple vista, el parénquima axial y radial sólo son visibles con lupa (Fig. 2).

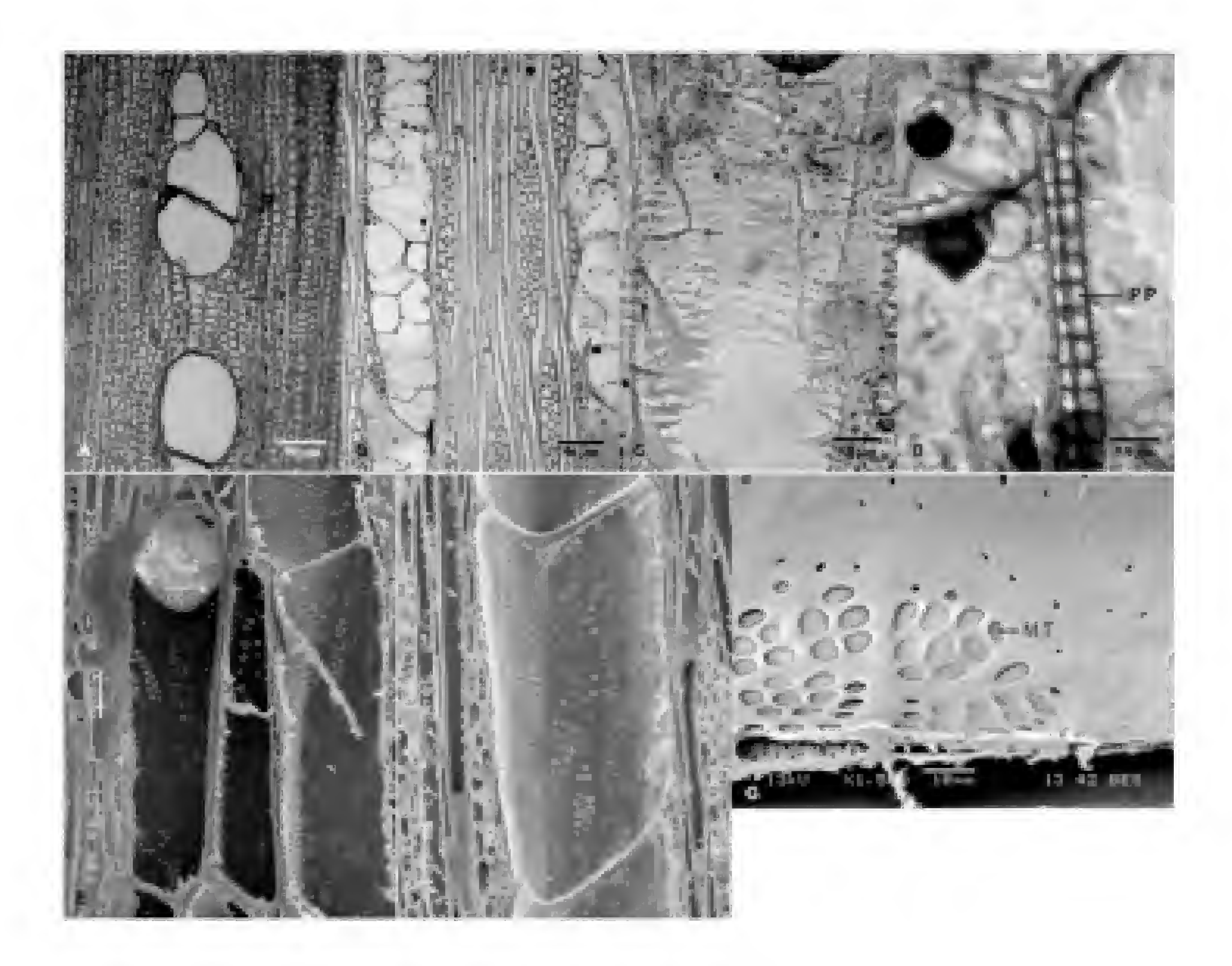


Figura 2. Características anatómicas. A-C. Secciones transversal, tangencial y radial. D. Detalle de la conexión lateral entre dos punteaduras intervasculares. E y F. Vasos. Detalles de las punteaduras y campos de cruzamiento. G. Punteaduras de campo de cruzamiento. PP. Pared de la punteadura. MT. Membrana de la tílide.

Características microscópicas (Fig. 2A-G, Tabla1).

La porosidad es difusa, los elementos de vaso son múltiples radiales de dos a cuatro, solitarios, moderadamente pocos 7(3-10)/mm^2, medianos en longitud, 556 (353-759) μm y de diámetro tangencial mediano 197 (150-240) μm. Las punteaduras intervasculares son areoladas alternas y las de campo de cruzamiento vaso-radio tienen rebordes internos reducidos pero distinguibles. Las punteaduras de campo miden de alto 7,5 (6-8,2) μm y de ancho 12 (10-15) μm y las intervasculares miden de alto 7 (6-8) μm y de ancho 11 (10-12,4) μm; se presentan tanto en caras radiales como tangenciales, ambos tipos se consideran medianas. La conexión de dos punteaduras areoladas en sección lateral, se aprecia como un disco central con dos estructuras tubulares hacia las cavidades de los vasos (Fig. 2D). De frente, la apertura interna de estas punteaduras es lisa (Fig. 2F); la conexión entre las punteaduras de vaso-parénquima sólo muestra una cavidad en semidisco. Las cavidades de los vasos se bloquean con tílides de paredes delgadas. Las tílides provienen del parénquima axial.

Tabla 1. Promedio y desviación estándar de los caracteres microscópicos.

Carácter	Localidad 1	Localidad 2	Localidad 3	Localidad 4
Vasos/mm2	7	6	6	9
	(± 3)	(± 2)	(± 2)	(c 3)
*Diámetro vasos	191	198	202	203
	(±36)	(± 34)	(± 40)	(+ 38)
*Longitud vasos	491	626	526	578
	(± 200)	(± 197)	(± 177)	(± 191)
*Anchura radios	50	51	56	57
	(± 12)	(± 14)	(± 15)	(± 11)
*Altura radios	324	353	331	352
	(± 68)	(± 70)	(± 54)	(± 58)
# de radios/mm	6	6	6	5.5
	(± 1,3)	(± 1,5)	(± 1,4)	(± 1,5)
*Diámetro fibras	24,8	25,5	21,7	21,5
	(± 5,6)	(± 4,6)	(± 3,5)	(± 4)
*Grosor pared fibras	1,74	1,059	1,69	1,430
	(± 0,5)	(± 0,4)	(± 0,4)	(± 0,4)
*Longitud fibras	1149	1040	1007	990
	(± 247)	(± 190)	(± 275)	(± 169)

*valores en micras.

El parénquima axial es vasicéntrico de una hilera de células. En caras tangenciales se presentan en cordones de más de 8 células de longitud. Presenta muchos almidones hacia la periferia y algunos contenidos de origen polifenólico hacia el centro.

Los radios son triseriados 3(1-4) series, angostos 53 (41-78) µm, bajos 340 (230-441) µm y moderadamente numerosos 6 (5-7)/mm. Contienen almidones en albura y pocos contenidos de origen polifenólico hacia el centro.

Las fibras son de tipo libriforme, de longitud mediana 1047 (839-1254) µm, de diámetro fino 23(18-28) µm y paredes gruesas 2(1-3) µm. No presentan contenidos de ningún tipo.

2. Variación anatómica y correlaciones

Los ANOVA de las características anatómicas señalan que el único carácter similar entre individuos y poblaciones fue el grosor de la pared de los vasos y el resto fue significativamente diferente (Tabla 2).

Para los índices mecánicos el I.C. de las fibras fue similar entre individuos y el I.C. de vasos entre poblaciones. Los índices hidráulicos son significativamente diferentes entre individuos y entre poblaciones (Tabla 3).

Las correlaciones (r) entre las características anatómicas ($p<0,05$) fueron:

Tabla 2. ANOVA de las características anatómicas, mecánicas e hidráulicas, entre árboles y entre poblaciones

	Árboles			*Poblaciones*		
Carácter	*R2*	*F*	*P*	*R2*	*F*	*P*
poros/mm2	0,0349	5,0152	<0,01	0,1844	62.92	<0,01
Diámetro vasos	0,0812	12.25	<0,01	0,0136	3.849	<0,01
Longitud vasos	0,357	5.138	<0,01	0,062	18.603	<0,01
Grosor pared vaso	<0,01	0,0001	1	<0,01	0,0001	1
Anchura radios	0,1523	20,76	<0,01	0,0434	10,53	<0,01
Altura radios	0,0706	8.777	<0,01	0,016	3,780	0,01
# de radios/mm	0,0758	9,465	<0,01	0,0399	9,629	<0,01
Diámetro fibras	0,0204	4,89	<0,01	0,136	73.98	<0,01
Grosor pared fibras	0,0197	4.731	<0,01	0,322	223.25	<0,01
Longitud fibras	0,0605	15,122	<0,01	0,091	47.0956	<0,01
I.V.	0,0451	6,551	<0,01	0,0769	23,20	<0,01
I.C vasos	0,0301	4.309	<0,01	0,0057	1.61	0,184
I.C fibras	0,0077	1.8256	0,0907	0,2547	160	<0,01
Kh -(vaso) (10-11)	0,0861	13,07	<0,01	0,0281	8,057	<0,01
Kh –área (10-09)	0,0558	8,198	<0,01	0,0986	30,471	<0,01

Tabla 3. Promedio y desviación estándar de los índices mecánicos e hidráulicos.

Índice	*Localidad 1*	*Localidad 2*	*Localidad 3*	*Localidad 4*
Í. C vasos	0,0023 (± 0,003)	0,0019 (± 0,0011)	0,0021 (± 0,0021)	0,0029 (± 0,0018)
I. C fibras	0,034 (± 0,025)	0,0102 (± 0,0111)	0,0461 (± 0,031)	0,056 (± 0,042)
$K_{h\text{-vaso}}$ (10-11)	3,93 (± 2,43)	4,44 ± 2,72)	5,34 (± 4,01)	5,05 (± 3,4)
$K_{h\text{-área}}$ (10-09)	2,32 (± 2,88)	1,6 (± 1,5)	2,72 (± 4,07)	5,3 (± 6,69)
ka/kv	59	36	50	104

El diámetro y la longitud de vaso (r = -0,06); el diámetro de vaso y la anchura de radio (0,11). El número de poros con la longitud de vaso (0,10) y ésta última con la anchura de radio (0,10). El diámetro de fibras con el diámetro de vaso (0,10), con la longitud de vaso (0,14) y con la anchura de radio (0,18).

3. Análisis discriminante y comparaciones múltiples (Tabla 4, Fig. 3)

En la figura 3 se presenta la dispersión de las 699 muestras de 28 árboles de las 4 localidades en un espacio definido por las dos primeras funciones del análisis discriminante, que explican 89,79% de la variabilidad observada donde ambas funciones son significativas ($p<0,0001$). La λ de Wilks para las dos primeras funciones es relativamente baja (0,353) pero significativa ($p<0,0001$). Se puede observar que existe heterogeneidad dentro de las localidades y entre las variables consideradas, sin embargo, algunas localidades se separan claramente entre ellas en el espacio discriminante, tales son los casos de las localidades Bola de Oro y Los Barrales (Fig. 3). La discriminación está dada por las variables "grosor de la pared de las fibras y por el "número de radios" para ambas funciones discriminantes, ya que representa los mayores valores obtenidos en los vectores característicos (eigenvectores) (Tabla 4).

Las comparaciones múltiples de Tukey-Kramer confirman que el "grosor de la pared de la fibra" es la carácter anatómico que separa (R^2= 0,32) a la localidad Bola de Oro de las otras tres. En el mismo sentido se confirma que "el número de radios/mm" separa a la localidad Los Barrales de las otras tres. Para la mayoría de los caracteres anatómicos, los ANOVA muestran diferencias significativas entre árboles y entre poblaciones, sin embargo, las R^2 son muy pequeñas, por lo que las diferencias apenas se perciben.

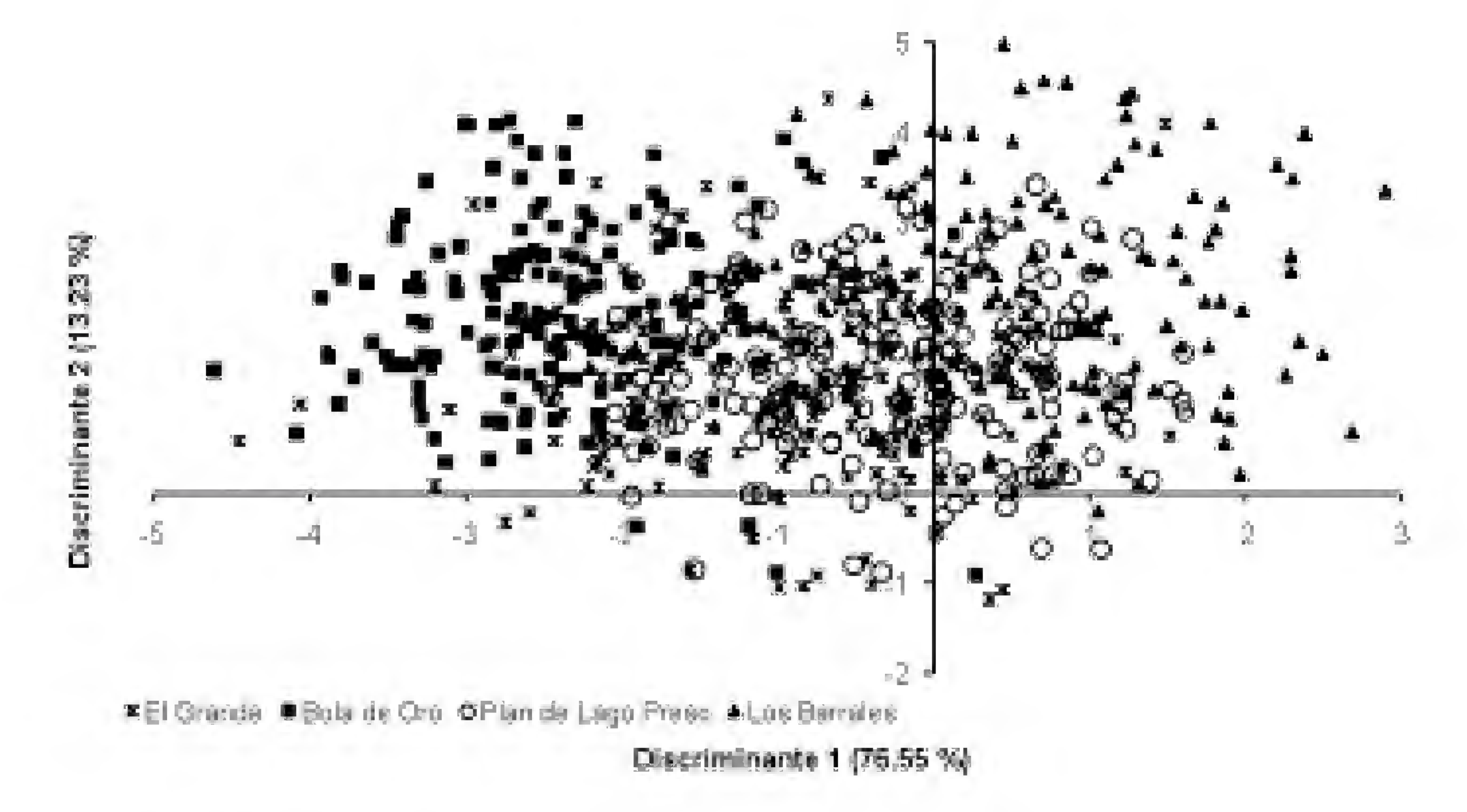


Figura 3. Diagrama de dispersión de las 699 muestras provenientes de cuatro localidades en un espacio discriminante, definido por las dos primeras funciones del ADM que explican 89,79% de la variabilidad de la matriz (Tabla 4).

Tabla 4. Matriz de estructura del ADM realizado con 699 muestras y 10 variables para siete individuos (árboles) y cuatro localidades (sitios).

		ÁRBOL		LOCALIDAD	
	Variable	*ADM1*	*ADM2*	*ADM1*	*ADM2*
Características de elementos de vaso	Diámetro	-0,000841	0,0156061	0,0024267	0,0068993
	Longitud	-0,000243	0,0003224	-0,000317	0,0026013
	Grosor de la pared	0,026633	0,0118894	0,0498129	0,0456326
	Número de poros	0,026186	-0,039583	0,1075658	0,174163
Radios	Número/mm	**-0,171684**	**-0,17751**	**-0,125667**	**-0,222661**
	Altura	-0,006674	0,0048192	-0,000939	0,0028212
	Anchura	0,0759631	0,0015577	0,0116181	0,0071095
Fibras	Longitud	0,0003635	0,002814	-0,001772	-0,001869
	Diámetro	0,0289801	-0,065912	-0,117751	0,0223122
	Pared fibras	**-0,592223**	**0,1246604**	**1,8443235**	**-0,726511**

Los valores representan la correlación entre las variables y las funciones discriminantes extraídas. Se muestran con negritas las variables (r > 0,700) que más contribuyen a la separación entre los grupos para cada función discriminante.

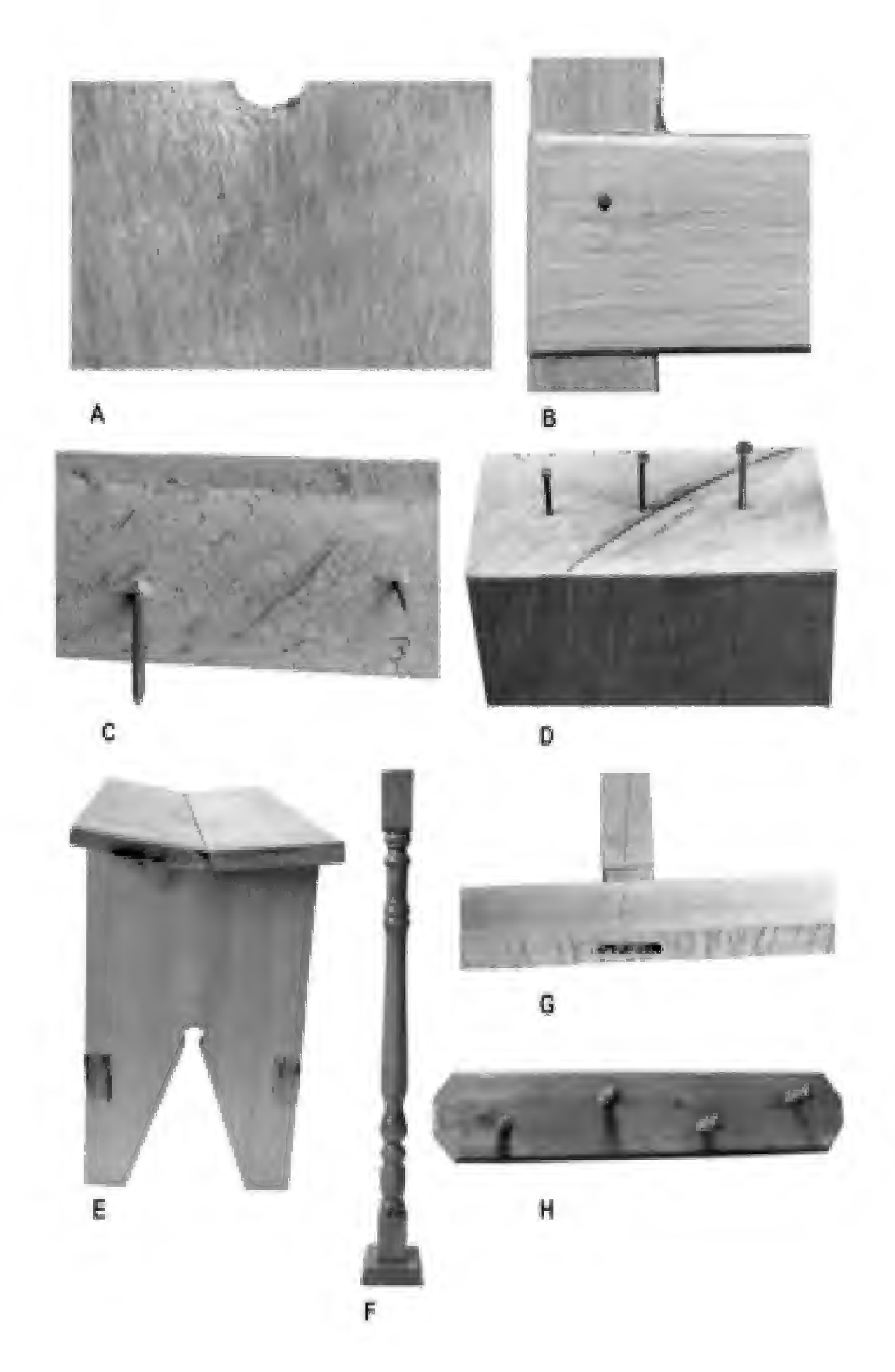


Figura 4. Características macroscópicas y pruebas de carpintería A.Textura, hilo, veteado y terminado por cepillado. B-D. Clavado. E-H. Ensamblado y torneado.

4. Densidad relativa (ρ_r), contenido de humedad (C. H.) y contracciones

La densidad relativa fue mediana (0,453). El contenido de humedad en estado verde fue de 48%. El porcentaje de la contracción volumétrica fue 11,47 (± 0,72);

Los análisis de varianza mostraron que sólo hubo diferencias significativas en los valores del C.H. de los cubos (R^2= 0,248; F=6,61; P<0,01)

5. Pruebas tecnológicas

La madera fue fácil de cepillar, la superficie terminada fue suave sin pérdida de madera, levantó fibrosidad contra el hilo, pero se resolvió con lija sin perder material (Fig. 4A). El clavado en los sentidos transversal y axial no produjo rajadura; el clavo quedó sujeto en la estructura del xilema (Figs. 4B-D). Los ensambles, aunque elaborados con herramientas rudimentarias fueron de fácil manufactura y bajo costo, y demostraron que la madera responde bien al pegamento y al clavado en los tres casos de ensambles.

El torneado produjo una pieza estable y sin astillamiento.

DISCUSIÓN

Las características anatómicas que presenta *T. micrantha* como: porosidad difusa, poros medianos y los valores de I.V. corresponden un xilema mesomórfico (Carlquist 1977). Asimismo, aunado a los valores de $I.C._{vaso}$, $I.C._{fibra}$ y de densidad relativa sugieren una estrategia xilemática de especie de rápido crecimiento que sacrifica masa por volumen (tablas 1, 2 y 3). Esto último también se observa por la presencia de tílides en vasos, que antecede a un fenómeno de cavitación previo al embolismo. Esto significa una reposición continua de vasos nuevos ante un riesgo de disfunción del xilema (Quintanar, 2009 y Quintanar *et al.,* 2009). En este sentido, Sperry (2003) mencionó que la tasa de intercambio de moléculas de agua por una de CO_2 es aproximadamente de 300 de agua. Esto se vincula estrechamente con las estrategias hidráulicas de conducción y los valores de las propiedades físicas y mecánicas del xilema que tiene cada especie para fijar este gas y garantizar el crecimiento y producción de madera. Lo anterior significa que el xilema de *T. micrantha* está en continuo requerimiento hídrico para formar masa foliar, que sugiere el ascenso de grandes cantidades de agua. En este sentido, los datos de Ferreira *et al.* (2009) predicen un sistema vascular secundario de gran capacidad hidráulica, pero de baja densidad debido a la producción de hojarasca y las grandes tallas que alcanzan los árboles de esta especie y su capacidad de intercepción de la luz por volumen foliar. Lo anterior explica la alta productividad de biomasa registrada para esta especie en términos de su tasa fotosintética, asociada a valores altos de índice de área foliar, pues intercepta mayor cantidad de luz que otras especies pioneras (Selaya *et al.,* 2008) y registra la mayor producción de hojarasca, lo que la caracteriza como una especie de rápido crecimiento y no longeva, (Gelder *et al.*, 2006; Selaya *et al.,* 2008; Ferreira *et al.*, 2009 y Markesteijn, *et al.*, 2010).

Variación anatómica. Los ANOVA muestran que aunque las R^2 son bajas, en general los caracteres anatómicos son sensibles al efecto de los factores físicos de los sitios de estudio. Resaltan las relacionados con las propiedades hidráulicas que sugieren que el ajuste en las dimensiones y el número de los vasos está relacionado con los requerimientos hídricos propios de esta especie (tablas 2 y 3). Las correlaciones muestran que entre más

anchos son los vasos, la longitud es menor, aunque esta tendencia sólo se explica en un 6%. Se observa que también los radios son caracteres sensibles, aunque la anchura de estos es el rasgo más correlacionado con los vasos y las fibras. Es decir, a mayor diámetro y longitud de vaso, la anchura de los radios se incrementa, aunque este incremento sólo se explica en 10% a 11%. Las dimensiones de las fibras son tan sensibles como los elementos de vaso y responden de manera correlacionada con el diámetro y longitud de vasos y con la anchura de radio. Es decir, conforme incrementan las dimensiones de las fibras incrementan los otros caracteres. Sin embargo, estos incrementos en las dimensiones sólo se explican en 10%, 14% y 18%, respectivamente. Los análisis ANOVA, de ADM y de Tukey-Kramer muestran que las localidades Los Barrales y Bola de Oro se separan por caracteres no relacionados con estrategias hidráulicas o de densidad (tablas 2, 3 y 4 y Fig. 3).

Índices mecánicos e hidráulicos

Se ha señalado que los índices mecánicos de vasos y de fibra que dependen del grosor de sus paredes, miden la resistencia a la implosión cuando estas células están bajo funcionamiento (Hacke *et al.*, 2001; Baas *et al.*, 2004). En esta especie ambos tipos celulares presentan índices muy bajos, lo que está asociado a la densidad relativa característica de *T. micrantha* (Hacke *et al.*, 2001; Gelder *et al.*, 2006; Swenson y Enquist, 2007; Bárcenas y Ordóñez, 2008). Los valores de I.C., predicen una deformación de las pared de los vasos suficiente para colapsarlos, lo que se relaciona con los datos de Selaya *et al.* (2008) que encuentran que esta especie desarrolla su dosel con mayor velocidad que otras especies pioneras. Si, como señalan estos autores, la tasa evaporativa es alta, entonces la tasa de colapso de vasos podría ser también alta, lo que también explica la presencia de grandes cantidades de tílides incluso cercanas al cambium vascular, que se producen después de un evento de embolismo. Este comportamiento también se observó en el xilema de *Gliciridia sepium* (Quintanar, 2009).

En Quintanar *et al.* (2009) se argumenta que en *G. sepium* el índice de vulnerabilidad está representando pocos vasos en relación con el número/mm^2, de manera que si un vaso cavita debido a su diámetro, entonces el área conductora del xilema se reduce. Por otro lado, esta planta tiene vasos medianos en promedio (180 µm), valores altos de densidad relativa (0,82), es de lento crecimiento y tiene bajos potenciales hídricos (Ψ= -2,4 MPa) en sitios tropicales secos o perturbados (Quintanar, 2009). Al respecto Markesteijn *et al.* (2010) registran los valores de potenciales hídricos del suelo (Ψ = -0.16 MPa) y de las hojas de *T. micrantha* (Ψ = –1.67 MPa) de un bosque tropical lluvioso boliviano, lo que significa que hay un esfuerzo de ascenso de agua de esta especie mucho menor que en *G. sepium*. El xilema de estas especies es similar en el tamaño de vasos y el número de poros y diferentes en sus densidades relativas, sin embargo, en ambas se considera mesomórfico. El valor del estatus hídrico del xilema podrá revelar la mejor compresión de la respuesta del xilema de *T. micrantha* en relación con el uso del agua, su velocidad de crecimiento y longevidad.

Los valores de $K_{h\ \text{área}}/k_{h\ \text{vaso}}$ en *T. micrantha* son del orden de 63 (36-104) que, comparado con los de *G. sepium* (5) *Prosopis laevigata* (67) o *Piptadenia flava* (183), procedentes de selvas secas de Veracruz y Oaxaca (Quintanar *et al.*, 2009), sugieren el impacto del número de

vasos en el flujo másico del agua, considerando las diferencias de los parámetros físicos de los sitios en los que habita. Al comparar las precipitaciones registradas para ambas localidades, se observa que en el municipio de Coatepec (El Grande) se registra mayor precipitación pluvial que en el municipio de Xico (Bola de Oro localidad, Plan de Lago Preso y Los Barrales). De acuerdo con los análisis estadísticos (tablas 1, 2, 3 y 4) y los datos de precipitación y temperatura de las localidades estudiadas, es posible que las variables que componen el medio físico (Gobierno del Estado de Veracruz, 2008) no se vean tan marcadas en la estructura anatómica e hidráulica. De cualquier forma se sugiere que en estudios futuros se correlacionen las características de la madera estudiada con estudios hidrológicos y climáticos.

La transferencia de los resultados a las comunidades rurales cafetaleras en la Sierra Norte de Puebla, detectó un interés en la comunidad para que se desarrollaran talleres continuos para el procesamiento de la madera de *T. micrantha.* Se destacan las siguientes características de esta madera:

La madera de *T. micrantha* de especímenes jóvenes presentó características de cepillado que resultaron en un terminado fibroso, pero con el lijado se lograron superficies más suaves (Fig. 4B). Aunque la característica fibrosa puede ser un defecto por el rápido crecimiento de la madera, resaltan las cualidades de no rajarse ni producir astillas Esto la hizo fácil para ensamblar, clavar y tornear (Fig. 4B-D). Por sus características estéticas se sugirió como sustituta de especies como la caobilla, el cedro rosado o especies de mediana densidad, reconociendo que no presenta las propiedades mecánicas o de resistencia para usos en los que se requiere más que una buena estética.

Debido al rápido crecimiento que registra esta especie, la densidad y la estructura celular están asociadas a los valores altos de contracción (Bárcenas y Ordóñez 2008) por lo que se abren las posibilidades para introducir tecnología de secado para áreas rurales que permitan controlar las deformaciones derivadas de esta propiedad. A pesar de esto, los objetos terminados tuvieron características que los campesinos cafetaleros supieron apreciar. En condiciones de buen secado fue fácil de tallar, por lo que se recomendó para esculturas, artesanías, para muebles de todo tipo, caseros, individuales, para oficina o como ornamento y bancos para escuelas principalmente mobiliario de nivel preprimaria (figs. 4G-H). Su color claro aceptó tintes y barnices que pueden adaptarse para cualquier uso. Por sus resultados en la talla y el torneado se recomendó en la elaboración de patas de mesas, soportes de perchero, agarraderas o jaladeras, balastros para barandales de escaleras o redondeo para palos de escoba y juguetes.

Aunque Gelder *et al.* (2006) y Bárcenas y Ordónez (2008) mencionan que no es resistente a varias pruebas, se recomendó en la elaboración de marcos para puertas, ventanas, bastidores, cuadros sencillos, cuadros de serigrafía, base de mesas. También para molduras, ensambles de zoclos o rodapiés.

CONCLUSIONES

Trema micrantha presenta un xilema poco resistente a la cavitación, como lo sugieren los bajos valores de $I.C._{fibra}$ e $I.C._{vaso}$ asociado a altos valores de I.V.; las densidades bajas y las altas contracciones. Asimismo, los valores de K_{harea} / k_{hvaso} muestran que los flujos másicos de agua son abundantes, lo que la caracterizaría como una especie pionera. Presentó dife-

rencias significativas de sus características anatómicas entre árboles y poblaciones, pero sus valores de R^2 fueron muy pequeños, lo que sugiere un estudio sobre el impacto del medio físico en los valores anatómicos asociados a las características hidráulicas. Los análisis de comparación múltiple y de ADM, por su sensibilidad, mostraron que el grosor de la pared y el número de radios separaron a las localidades Bola de Oro y Los Barrales de las otras. Los resultados de las propiedades de secado, clavado, ensamblado y torneado sugieren una asociación con el rápido crecimiento y la baja longevidad de esta especie que caracteriza a su xilema, con resultados potenciales hacia usos diversos que pueden beneficiar a las poblaciones rurales cafetaleras, por lo que resulta una especie que puede ser promovida en planes de reforestación o restauración ecológica y ser una alternativa en la economía rural de estas regiones de México.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al señor ebanista David García por las pruebas tecnológicas y las demostraciones de la madera para la carpintería en las zonas rurales. A los pobladores de Loma Bonita de la Sierra Norte de Puebla que permitieron las demostraciones y a los árbitros anónimos por sus acertadas observaciones. Esta investigación fue financiada por la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa y por el Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana.

REFERENCIAS

Amorim, I.L., A.C. Davide, M.F. Chaves M. 1997. Morfologia do fruto e da semente, e germinação da semente de *Trema micrantha* (L.) Blum. Revista Cerne, Lavras 3(1):129-142.

Ackerly, D., S 1997. *Trema micrantha* (capulín). *In*: E. González, R. Dirzo y C.R. Vogt. eds. Historia natural de Los Tuxtlas. Conabio-UNAM. México. p:156-58.

Baas, P., F.W. Ewers, S.D. Davis y E. Wheeler. 2004. Evolution of xylem physiology. In: The evolution of plant physiology. Great Britain. Elsevier. p:275-295.

Bárcenas Pazos, G.M y V.R. Ordóñez Candelaria. 2008. Calidad de la madera de los árboles de sombra. In: R. H. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter, eds. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. INE-Inecol, México, D.F. p:235-246.

Carlquist, S. 1977. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. Amer. J. Bot. 64(7):887-896.

Carvalho, P.E.R. 1994. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA/CNPF; Brasília: EMBRAPA/SPI. 640 p.

Chattaway, M. 1932. Proposed standards for numerical values used in describing woods. Trop. Woods 29: 20-28.

Ferreira, M.B., V. Gomes y M. Losada. 1976 Subsídios para o estudo de *Trema micrantha* (L.) Blume. Cerrado, Brasilia. 8(32):30-34.

Ferreira, G.B., G.C. Coelho, J. Schimer y O.A. Lucchese. 2009. Dendrometry and litterfall of neotropical pioneer and early secondary tree species. Biota Neotrop. 9(1):65-71.

Gómez, C.M.1991. Atlas climático del municipio de Xico. Serie Estudios Climáticos núm. 7. Instituto de Ecología, A.C. 47 p.

Gobierno del Estado de Veracruz. 2008. Municipio de Coatepec. http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?_pageid=315,3923649&_dad=portal&_schema=PORTAL. Febrero 2012.

Gelder, H.A., L. Poorter y F.J. Sterck. 2006. Wood mechanics, allometry, and life-history variation in a tropical rain forest tree community. New Phytologist 171:367–378.

Gutiérrez, C.L. y L.J. Dorantes. 2004. Especies forestales de uso tradicional del estado de Veracruz. Potencialidades de especies con uso tradicional del estado de Veracruz, como opción para establecer Plantaciones Forestales Comerciales. Conafor-Conacyt-UV. http://www.verarboles.com/Izpepe/izpepe.html. Febrero 2012.

Hacke, U.G., J. Sperry, W.T Pockman, S.D. Davis y K.A. McCulloh. 2001. Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. Oecologia 126:457-461.

IAWA Committee.1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bull. n. s. 10(3):219-332.

Johansen, D.A. 1940. Plant microtechnique. McGraw Hill. Nueva York. 523 p.

López, C. 2003. The endurance of Mexican Amate paper: Exploring additional dimensions to the sustainable development concept. Tesis doctoral. CSTM-Twente University Press. Países Bajos. 330 p.

López, C., A. Quintanar-Isaías y M. Vander Meeren. 2012. Mexican bark paper: Evidence of history of tree species used and their fiber characteristics. Economic Botany. 66:138-148.

Markesteijn, L.J. Iraipit, F. Bongers y L. Pooter. 2010. Seasonal variation in soil and plant water potentials in Bolivian tropical moist and dry forest. Journal of Tropical Ecology 26:497-508.

Martínez, M.A., V. Evangelista, F. Basurto, M. Mendoza y A. Cruz-Rivas. 2007. Flora útil de los cafetales en la Sierra Norte de Puebla, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 78(1): 15-40.

Munsell Color Company. 1954. Munsell soil color charts. Baltimore. Maryland. 17 p.

Melgar, W. 2003. Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Guatemala. Documentos de Trabajo: Recursos Genéticos Forestales. FGR/53S Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales, Dirección de Recursos Forestales, FAO, Roma, inédito. http://www.fao.org/docrep/007/j0605s/j0605s00.htm. Febrero 2012.

National Academy of Sciences. 1980. Trema species. *In:* Firewood Crops. Shrub and tree species for energy production. Report of an *Ad Hoc* Panel of the Advisory Committee on Technology Innovation Board of Science and Technology for International Development Commission on International Relations. p:68-69

Quintanar-Isaías, A., J.L. Zárate Castrejón, C. López, e I.H. Salgado-Ugarte. 2004. Anatomía e histoquímica de la corteza de cinco especies de Moraceae. Polibotánica 17:15-38.

Quintanar I.A. 2009. Efecto de la inducción de tílides por cavitación en la arquitectura hidráulica del cocuite, *Gliricidia*

sepium (Fabaceae). Tesis de Doctorado. UAM. 146 p.

Quintanar I., A., G. Ángeles-Álvarez y J.A. Zavala-Hurtado. 2009. Anatomía, índices físicos e hidráulicos de la madera de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. Madera y Bosques 15(2):71-91.

Quintanar I., A., M.B. Jarquín Pacheco, A.T. Jaramillo Pérez, G. Gutiérrez P., J. Sepúlveda S. y M.A. Jacobo V. 2010. Procesos limpios para el ablandamiento de fibras. San Pablito. Producción sustentable de papel amate en la Sierra Norte de Puebla. Informe Técnico Final. UAM, Fonart, IAIP, UV. 52 p.

Selaya G., R.J. Oomen, J.J.C. Netten, M.J.A. Werger y N.P.R. Anten. 2008. Biomass allocation and leaf life span in relation to light interception by tropical forest plants during the first years of secondary succession. Journal of Ecology 96:1211–1221.

Sangalli, A., M.C. Vieira y N.A.H. Zárate. 2002. Levantamento e caracterização de plantas medicinais nativas com propriedades medicinais em fragmentos florestais e de cerrado, em Dourados-MS, numa visão etnobotânica. Acta Horticulturae, The Hague (569):173-184.

Sperry, J.S. 2003. Evolution of water transport and xylem structure. Int. J. Plant Sci. 164(3 Suppl.):S115-S127.

StataCorp. 2001. Stata Statistical Software: Release 7.0. College Station, TX: Stata Corporation.

Streeter, V.L. y Wyllie, E.B. 1985. Fluid mechanics. McGraw Hill. Nueva York. 560 p.

Swenson, N.G. y B.J. Enquist. 2007. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community-wide variation across latitude and elevation. American Journal of Botany 94(3): 451-459.

Tatsuoka, M.M. 1970. Discriminant analysis. The study of group differences. IPAT. Champaign, Ill. 130 p

Tortorelli, L.A. 1956. Maderas y Bosques Argentinos. ACME. 910 p.

Toledo, M. y J. Salick. 2006. secondary succession and indigenous management in semideciduous forest fallows of the Amazon basin. Biotropica 38(2):1-10.

Vázquez-Yanes, C., A.I. Bátiz M., M.I. Alcocer S., M. Gual D.y C. Sánchez D. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. Conabio-Instituto de Ecología, UNAM. [en línea]: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/indice_especies.html#Z. Febrero 2012

Williams-Linera, G. 1996. Crecimiento diamétrico de árboles caducifolios y perennifolios del bosque mesófilo de montaña en los alrededores de Xalapa. Madera y Bosques 2(2):53-65.

Manuscrito recibido el 15 de febrero de 2012.
Aceptado el 10 de agosto de 2012.

Este documento se debe citar como:
Quintanar-Isaías, A., M.A. Jacobo-Villa, C. López-Binnqüist, N. Flores-Hernández, A.T. Jaramillo-Pérez y C. de la Paz Pérez-Olvera. 2012. La madera de *Trema micrantha* (L.) Blume de Veracruz, México. *Madera y Bosques* 18(2):73-91.

MADERA Y BOSQUES Vol. 18 Núm. 2
Se terminó de imprimir en el mes de agosto de 2012
en los talleres de Tavera Hermanos, S.A. de C.V.
Av. Lázaro Cárdenas 3052. Col. Chapultepec Sur.
CP 58260, Morelia, Michoacán.

La edición consta de 300 ejemplares
más sobrantes para reposición.


Madera y Bosques 18(2), 2012
CONTENIDO